



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

boletín geológico y minero

VOLUMEN 109

Septiembre-Octubre y Noviembre-Diciembre 1998

NUMEROS 5 y 6

EL ORO EN ESPAÑA



boletín geológico y minero

Número doble dedicado a

EL ORO EN ESPAÑA

El Instituto Tecnológico Geominero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus publicaciones son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

Los derechos de propiedad de los trabajos publicados en esta obra fueron cedidos por los autores al Instituto Tecnológico Geominero de España.

Las ponencias y comunicaciones presentadas en este número se publican a partir de los textos originales enviados por los autores. La coordinación, preparación de originales y revisión de pruebas de los trabajos publicados ha sido realizada por D. Octavio Puche Riart.

EXPLICACION DE PORTADA:
Pepita de oro de 39,30 gr. recogida en el río Sil.
Colección Museo Geominero (ITGE, Madrid).

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366-0176
NIPO 241-97-001-8

Gráficas Chile, S.A.L. - Chile, 27 - Teléf./Fax 91 359 57 55 - 28016 -MADRID

Volumen 109
Números 5 y 6
Septiembre-Octubre y
Noviembre-Diciembre 1998

revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas fundada en 1874 - 5.ª serie

boletín
geológico
y minero

Sumario

Geología	A. ARRIBAS. Los yacimientos de oro asociados con las monteras limoníticas de la Faja Pirítica Ibérica.	9
	A. ARRIBAS. El yacimiento epitermal de oro de Rodalquilar.	15
	A. DEMOUSTIER, R. CASTROVIEJO y J. M. CHARLET. Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería.	29
	R. URBANO. Yacimientos de oro intragraníticos en el NO del Macizo Ibérico.	49
	A. MARTIN-IZARD, M. A. CEPEDAL, M. FUERTES-FUENTE, R. REGUILON, L. RODRIGUEZ-PEVIDA, E. SPIERING, S. GONZALEZ, A. VARELA, C. MALDONADO y LL. BOIXET. Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España.	59
	R. CASTROVIEJO. Nuevas aportaciones a la tipología de metales preciosos para exploración en España.	77
Geoquímica	M. VILADEVALL SOLE. La geoquímica del oro como herramienta de prospección de menas auríferas.	101
Minería	J. A. ESPI. Análisis de las innovaciones en la tecnología de la recuperación del oro.	115
Metalurgia	T. GARCIA. El afino y las aplicaciones del oro.	133

DIRECCION Y ADMINISTRACION
Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid
Fax 91 349 57 62



Ministerio de Medio Ambiente

Minería Histórica	A. PEREA. Metalurgia del oro. Ambitos tecnológicos en prehistoria.	145
	F. J. SANCHEZ-PALENCIA, M.ª D. FERNANDEZ-POSSE, J. FERNANDEZ MANZANO, A. OREJAS y L. C. PEREZ GARCIA. Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero.	157
	A. VILLA VALDES. Estudio arqueológico del complejo minero romano de Boinás, Belmonte de Miranda (Asturias).	169
	E. ORCHE. Minería americana del oro en las épocas precolombina y del imperio.	179
	O. PUCHE RIART y E. ORCHE GARCIA. Los museos del oro en Europa.	197
	L. F. MAZADIEGO MARTINEZ y O. PUCHE RIART. Mitología del oro: El oro y el sol.	209
Información	J. SARDA DE LAS HERAS. La comercialización del oro.	221
	Estadísticas de la Minería del Oro.	233
	Indice de Materias.	235
	Indice de Autores.	239

PRESENTACION

A pesar de las grandes vicisitudes por las que el oro ha atravesado, en la historia y cultura de la humanidad, este metal no ha perdido nunca su brillo o su presencia en la vida de los pueblos, incluso en el actual ciclo recesivo de la valoración de las materias primas.

Durante el período de 1990 a 1994 España produjo el 54% del oro de procedencia minera de la Unión Europea, principalmente debido a su extracción a partir de menas oxidadas en la Faja Pirítica, concretamente de Río Tinto y de la zona de Tharsis. Aunque estas cifras han disminuido apreciablemente al final de esta década, gracias a la puesta en marcha de las instalaciones de Río Narcea Gold Mines, con las minas de Boinás y El Valle, en este año la producción se vuelve a reconducir por la senda histórica de una privilegiada presencia en la producción europea.

Además se tienen alternativas de nuevos proyectos mineros a corto-medio plazo en la Faja Pirítica. Tal es el caso de Filón Sur y la Zarza, en la provincia de Huelva, así como otros aun no tan concretos como son Nueva Tharsis (Huelva), Salave y Carlés (Asturias), Las Omañas (León), etc., que podrían tomar el relevo en cuanto el esfuerzo investigador los defina mejor, la tecnología de obtención avance y los precios de mercado lo permitan.

El Instituto Tecnológico Geominero de España ha colaborado decisivamente en los últimos tiempos en muchas facetas relacionadas con la investigación, prospección y aprovechamiento de este metal precioso. Ha desarrollado una importante labor de estudio en reservas del Estado, ha inventariado y valorado una importante parte de los recursos nacionales, ha realizado investigación tecnológica de gran altura, sobre todo en el área de la biotecnología, para el aprovechamiento de minerales de difícil tratamiento. Ahora ya, en otro contexto, además puede aportar sus conocimientos para realizar estudios de ordenación minero-ambiental, desarrollo de tecnologías ambientalmente limpias y como apoyo técnico y científico a otros estamentos de las Administraciones Central y Regional que así lo demanden.

En las conferencias impartidas en el Seminario "El oro en España", celebrado en el Claustro Histórico de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, del 28 al 29 de mayo de 1998, donde técnicos y especialistas del ITGE han participado decisivamente, se ha procurado contar con los algunos de los principales expertos españoles. Esta y otra serie de iniciativas científico-culturales sobre el oro han sido llevadas a cabo por la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Del interés despertado por los temas tratados ha surgido este número extraordinario del Boletín Geológico y Minero, fruto del apoyo del Instituto Tecnológico Geominero a dicha iniciativa. En la publicación se recogen temas de yacimientos españoles, prospección, minería, metalurgia, arqueología, historia, patrimonio, cultura y comercialización del oro.

Emilio Custodio Gimena
Director General del Instituto Tecnológico Geominero de España

PROLOGO

La Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero, es una asociación científica, sin ánimo de lucro, dedicada a la historia y a los aspectos didácticos de los valores patrimoniales de la geología, así como de la minería y de la metalurgia. Preocupada por estos temas de interés y relevancia social, ha dedicado el último curso escolar, en buena medida, al oro como patrimonio.

Desde 1997, se han realizado excursiones con el fin de recuperar las tradicionales técnicas del bateo. También se hizo un viaje a Asturias donde se recorrieron antiguas minas de oro y se visitaron las magníficas instalaciones de Río Narcea Gold Mines, minas, laboratorios y planta de tratamiento. Así mismo se publicó un número extraordinario del Boletín de la SEDPGYM, dedicado al tema oro. En abril de 1998 se organizó, en la Biblioteca Histórica de la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, la exposición "La Fiebre del Oro", ahora parte de la misma está recorriendo España: Aranjuez (octubre), Cartagena (noviembre), Almadén (diciembre), Manresa (febrero de 1999) y también ha sido solicitada desde Lisboa. En mayo se impartió el Seminario "El oro en España", en la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, con la intervención de dos decenas de expertos en el tema y gran asistencia de público. Por último, del 3 al 5 de julio de 1998, celebramos en el Río Agueda, a su paso por Navasfrías, Salamanca, el "Primer Certamen Nacional de Bateo, en la modalidad libre".

El broche de oro de estas actividades ha sido la colaboración del ITGE en la edición de las conferencias del Seminario "El oro en España", tal vez este Boletín sea la primera publicación en nuestro país donde se reúne de manera integra información tan variada sobre dicho metal.

Este número monográfico recoge prácticamente todas las comunicaciones presentadas en el Seminario y por tanto cubre todas las visiones del oro como recurso, así como otros aspectos culturales e históricos. La metalogenia del metal amarillo queda cubierta con su descripción mineralógica, la reactividad de algunos de sus compuestos en la naturaleza y la abundante descripción, análisis y modelización de los principales yacimientos, activos o no, de nuestro país. Así mismo se recoge la prospección, en su aspecto geoquímico y con ejemplos tan documentados como los éxitos de la investigación del potencial aurífero en la región asturiana. La tecnología queda recogida en el análisis de sus últimas innovaciones mineralúrgicas y metalúrgicas, así como la descripción del proceso de la más próspera realización en el Norte de España. Tampoco queda olvidado el importante problema de su comercialización. Las percepciones históricas se han esforzado desde la prehistoria de su minería y metalurgia, la arqueología en asentamientos de época ibérica y romana, así como una rápida visión de la minería iberoamericana. En su aspecto mas cultural se aborda su enfoque museístico, la mitología del oro e incluso una vertiente de ocio aplicada a la explotación de su irrefrenable atractivo.

Vaya el agradecimiento y felicitación a todos los que de una manera u otra han colaborado en las actividades sobre el oro, en particular en la realización del Seminario y sobre todo del volumen monográfico, del que no me cabe duda que ha logrado importantes aportaciones científicas, tecnológicas y culturales al conocimiento general de este tema.

Octavio Puche Riart
Coordinador del Seminario "El oro en España"
Secretario de la S.E.D.P.G.Y.M.

LOS YACIMIENTOS DE ORO ASOCIADOS CON LAS MONTERAS LIMONITICAS DE LA FAJA PIRITICA IBERICA.

Por A. ARRIBAS (*)

R E S U M E N

Algunas monteras limoníticas (gossans) de los yacimientos de sulfuros polimetálicos de la Faja Pirítica Ibérica, especialmente la montera de Cerro Colorado, en la provincia de Huelva, han sido la principal fuente del oro producido en España durante las últimas décadas. Desde el punto de vista económico, los gossans más importantes proceden de la oxidación de lentejones de sulfuros masivos, y están formados fundamentalmente por limonita y restos de rocas encajantes. La composición media del mineral es: 79% de óxidos e hidróxidos de Fe, 1-2% de Pb, trazas de Cu y Zn, 1,8-2,5 ppm de Au, y 35-45 ppm de Ag. Durante el proceso de meteorización, el Au se concentró en la zona de oxidación, mientras que sólo una parte de la Ag permaneció en el gossan como argento-jarosita. Entre 1970 y 1985, la producción española de oro en la Faja Pirítica fue aumentando desde 2,2 hasta 4,0 t/año, mientras que entre 1986 y 1998, año en el que ha terminado la explotación de las monteras, la producción ha sobrepasado las 70 t Au. Esto quiere decir que, entre 1969 y 1998, se han obtenido en los gossans de la Faja Pirítica, en España, más de 106 t (3,5 M oz) de Au, una cifra muy significativa para un yacimiento de oro de este tipo incluso a escala mundial.

Palabras clave: Montera, Limonita, Gossan, Oro, Jarosita, Sulfuros masivos, Faja Pirítica, España.

A B S T R A C T

Some of the monteras limoníticas (gossans) developed on the sulfide deposits of the Iberian Pyrite Belt, especially the gossan of Cerro Colorado, in the province of Huelva, have been the main source of the gold produced in Spain during the last three decades. From the economic point of view, the most important are the gossans associated with strongly oxidized lenses of massive sulfides, and are formed mainly by limonite and remains of the country rocks. The average ore composition is: 79% Fe oxides and hydroxides, 1-2% Pb, traces of Cu and Zn, 1.8-2.5 ppm Au, and 35-45 ppm Ag. During weathering, the Au concentrated in the oxidation zone, while only part of the Ag remained in the gossan as argentojarosite. Between 1970 and 1985, the Au produced in the Spanish Pyrite Belt increased from 2.2 to 4.0 t/year, while between 1986 and 1998, year in which the exploitation of the Au-bearing gossans ended, the Au production reached more than 70 t. This means that the total Au production from the gossans of the Spanish Pyrite Belt between 1969 and 1998 was over 106 t (3.5 M oz), a significant figure for a gold deposit of this type even at world scale.

Key words: Montera, Limonite, Gossan, Gold, Jarosite, Massive sulphides, Pyrite Belt, Spain.

INTRODUCCION

Las monteras limoníticas de algunos de los grandes cuerpos de sulfuros masivos que existen en la Faja Pirítica Ibérica, y muy especialmente la del yacimiento de Cerro Colorado, en Río Tinto (Huelva), han sido la principal fuente del oro producido en España desde 1970 hasta la fecha. En 1967, la explotación de Cerro Colorado, un stock-work de baja ley en cobre situado bajo los restos

del enorme lentejón de sulfuros masivos, totalmente limonitizados, que formaban en superficie el núcleo del anticlinal de Río Tinto, exigió el desmonte previo de unos 17 millones de Tm de gossan con una ley media de 2,2 g/t de oro y 40-50 g/t de plata. Esta masa de mineral se almacenó en pilas y comenzó a tratarse a partir de 1969 con recuperaciones metalúrgicas medias del 80 y 35 por 100 en Au y Ag, respectivamente (GARCIA PALOMERO et al., 1986).

En 1982, la caída del precio del cobre y el hecho

(*) E.T.S. Ingenieros de Minas. Madrid

de que sólo quedaran reservas de gossan en Cerro Colorado para 10 años de tratamiento, obligó a Río Tinto Minera, S.A. a evaluar el potencial de las restantes monteras limoníticas existentes en la parte española de la Faja Pirítica, lo cual aconsejó y dio lugar a una ampliación de la capacidad de tratamiento de la planta, la que pasó a ser de 2 a 5 millones de Tm/año. El cálculo de reservas, que terminó en 1986, permitió conocer el potencial de todos los gossan mineralizados, cuya explotación y tratamiento ha terminado a principios de 1998.

EL ORO EN LA FAJA PIRITICA IBERICA

Aunque todas las mineralizaciones españolas de sulfuros masivos de la Faja Pirítica llevan trazas de metales preciosos, se citan a continuación los yacimientos de sulfuros cuyo contenido medio en Au superó 1 g/t y en donde las monteras limoníticas estaban especialmente enriquecidas en dicho metal: Lomero Poyatos (4 g/t), San Platón (2 g/t), Río Tinto (1 g/t), La Romanera (1 g/t), y Aznalcóllar (1 g/t). A estos yacimientos se deben añadir los cuatro gossans que han sido explotados durante estos últimos años por su contenido en oro, es decir, los de Cerro Colorado (Lam. I, 1), Filón Sur de Tharsis (Lam. I, 5), San Miguel y Valdelamusa, los 10 Mt de sulfuros, con 6,0 g/t Au, de La Zarza (así como el stockwork de Tharsis, todavía en evaluación, con >2,5 g/t Au), que han

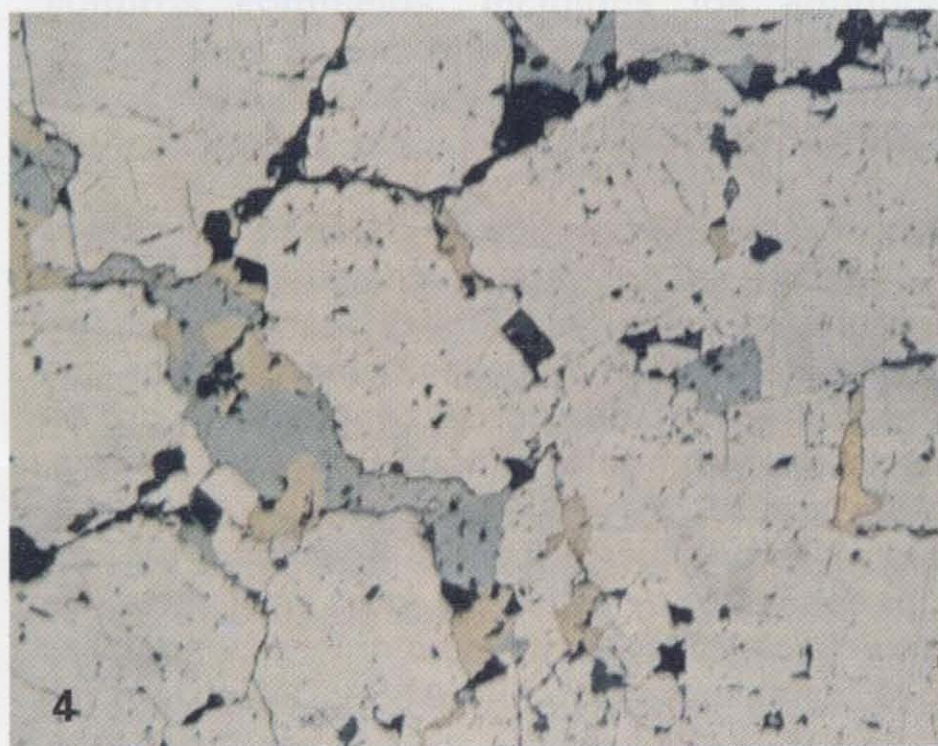
sido cubrados recientemente por SEIEMSA en la provincia de Huelva, y 1 Mt del gossan, con 6,5 g/t Au, descubierto bajo el Mioceno por la compañía Río Tinto en su nuevo yacimiento de Las Cruces, en la provincia de Sevilla.

Los estudios geoquímicos y mineralógicos detallados llevados a cabo en la parte española de la Faja Pirítica Ibérica (LEISTEL et al., 1998) demuestran que el oro contenido en los sulfuros masivos presenta dos tipos de asociaciones espaciales: (1) el tipo Tharsis-Sotiel-Migollas, en donde el Au se enriquece con Co \pm Bi en los stockworks y en la zona de entronque de estos últimos con los lentejones de sulfuros; y (2) el tipo Río Tinto-Aznalcóllar-La Zarza, en donde el Au está asociado con una fase polimetálica (Zn + Ag \pm As \pm Tl \pm Hg), que se encuentra en posición lateral o distal, o en la base, de los sulfuros masivos.

Los yacimientos del primer tipo están concentrados en la zona meridional de la Faja Pirítica, caracterizada por la abundancia de facies sedimentarias, en donde las paragénesis auríferas se depositaron a alta temperatura (>300°C) y el Au, que se presenta como electrum aurífero (Au > 75%), fue transportado en forma de complejos clorurados. El segundo tipo se encuentra principalmente en la zona septentrional, en donde predominan las facies volcánicas. Las paragénesis auríferas se formaron aquí a temperatura más baja (<280°C), en una etapa tardía con respecto a

LAMINA I.-

- 1.- Aspecto del gossan de Cerro Colorado en 1972, poco tiempo después de que comenzara su explotación.
- 2.- La montera limonítica de Cerro Colorado, en lo que fue la corta, LAGO, en 1976, muestra claramente la brusca transición de los óxidos de Fe a la masa de sulfuros, en donde todavía se pueden observar las antiguas labores romanas.
- 3.- El típico aspecto irisado de la limonita que forma el gossan de Cerro Colorado, característico de la oxidación de sulfuros masivos con alto contenido en Cu.
- 4.- En la Faja Pirítica Ibérica, el oro de los sulfuros masivos (amarillo, a la derecha) aparece generalmente intersticial, o incluido, en los cristales de pirita cuya oxidación ha dado lugar a la formación de las monteras limoníticas. Los otros minerales que se ven en la fotografía corresponden a calcopirita (amarillo verdoso) y cobres grises.
- 5.- Una de las últimas explotaciones auríferas de la Faja Pirítica ha sido la del gossan del Filón Sur de Tharsis, la cual continúa sus operaciones en 1998.
- 6.- Un aspecto en 1975 del gossan transportado que se depositó al sur de Planes durante el Mioceno por la erosión de la montera limonítica que todavía cubre, en parte, en lo que aún queda de Cerro Colorado, el enorme lentejón de sulfuros masivos del yacimiento de Río Tinto.



la génesis de los sulfuros y en la que el Au, que se presenta como electrum rico en Ag y Hg (hasta 61,0% y 30,5% en peso, respectivamente), y/o como arsenopirita aurífera (con un contenido medio de 280 ppm de Au), fue transportado como complejos sulfurados.

En cualquier caso, es interesante destacar el enorme potencial metálico de los sulfuros complejos (mineral explotado más reservas) que existen en la Faja Pirítica Ibérica: 1.700 Mt de sulfuros que contienen en total 14,6 Mt de Cu, 13,0 Mt de Pb, 34,9 Mt de Zn, 46.100 t de Ag y 880 t de Au. Esto explica porqué las monteras de estos gigantes yacimientos han sido un importante productor de oro, incluso a escala mundial (Tabla 1).

LA MONTERA LIMONITICA DE CERRO COLORADO

La montera limonítica o gossan de Cerro Colorado (Lam. I, 2), con mucha diferencia la más importante de la Faja Pirítica Ibérica, está formada, al igual que todos los demás gossans que han sido explotados por su contenido en oro en la parte española (Filón Sur de Tharsis, Valdelamusa, San Miguel, etc.), por óxidos e hidróxidos de hierro (Lam. I, 3), sólo o mezclados con restos de sulfuros y rocas encajantes. De aquí, la clasificación de las monteras limoníticas que establecieron GARCIA PALOMERO et al.

(1986), y que comprende los siguientes tipos: gossan masivo (formado a partir de una masa de sulfuros), pórfido gossanizado (por limonitización de un stockwork), roca gossanizada (debido a la fuerte oxidación de rocas piroclásticas y pizarras que contienen abundantes sulfuros de Fe), y gossan transportado (formado por materiales resultantes de la erosión, transporte y deposición de gossans preexistentes). Si bien hay que destacar que este último tipo de gossan no contiene metales preciosos (Lam. I, 6).

De todos estos tipos de gossan, el más importante es el masivo, el cual se origina por la intensa meteorización y consiguiente oxidación de los grandes cuerpos de sulfuros, cuya composición media en la Faja Pirítica es: 45% de S, 40% de Fe, 0,9% de Cu, 2,1% de Zn, 0,8% de Pb, 0,5 ppm de Au y 26 ppm de Ag. El intenso y extenso proceso de oxidación ha dado lugar a monteras que pueden llegar a alcanzar hasta 70 m de potencia y que, como resultado de la pérdida de S, Cu, Zn y parte del Fe durante el proceso de oxidación, tienen menor volumen y densidad que las masas originales de sulfuros. Como consecuencia de ello, la densidad media pasa de ser 4,5-5,0 gr/cm³, en los sulfuros, a 2,7-3,0 gr/cm³, en el gossan, el cual tiene una composición media de: 79% de óxidos e hidróxidos de Fe, 1-2% de Pb, trazas de Cu y Zn, 1,8-2,5 ppm de Au, y 35-45 ppm de Ag, así como ocasionalmente valores anómalos de Sn, Ba y Hg. Es decir, que la dife-

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997*
GOSSAN Oro en buillon Au-Ag (kg)	3749	5292	5419	6564	6703	7421	6572	6060	5859	3270	2764	1824
CONCENTRADOS DE SULFUROS Cu, Pb y Zn (kg)	292	8	sd	sd	sd	10	sd	sd	sd	38	68	sd
TOTAL Au (kg)	4041	5300	5419	6564	6703	7431	6572	6060	5859	3308	2832	1824
MINERAL (Mt)	2.4	4.5	5.9	6.7	7.2	7.4	7.8	8.0	7.2	5.2	5.0	sd
VALOR DE LA PRODUCCION (Mpta)	7462	12346	11985	12514	10874	10395	9389	11384	11852	6692	sd	sd

* Datos provisionales

Tabla I.- Producción española de oro en la Faja Pirítica Ibérica durante los últimos doce años (Según ITGE, 1986).

rente movilidad de los metales nobles ha hecho que las monteras limoníticas se hayan enriquecido hasta cinco veces en Au mientras que el contenido en Ag se ha mantenido prácticamente igual. Durante la meteorización, el Au de los sulfuros (Lam. I, 4) descendió como partículas submicroscópicas que se concentraron en la zona de oxidación, mientras que la Ag se disolvió y ha sido arrastrada en su mayor parte, si bien una cierta cantidad ha permanecido en el gossan en forma de argento-jarosita (AMOROS et al., 1981; MARTIN, 1981; WILHELM y KOSAKEVITCH, 1978; KOSAKEVITCH et al., 1993; VIALLEFOND, 1994).

Los estudios mineralógicos llevados a cabo en el gossan de Río Tinto (AMOROS et al. 1981; GARCIA-PALOMERO et al. 1986; NUÑEZ et al 1987) muestran un enriquecimiento residual en Au, Ag, Pb, As, Hg y BaSO4, así como una cierta zonación en la distribución de los metales nobles, cuyo contenido tiende a aumentar hacia la base. Por otra parte, KOSAKEVITCH (1978) y VIALLEFOND (1994) han demostrado que, al menos en la parte española de la Faja Pirítica, las monteras situadas directamente sobre un yacimiento de sulfuros (Filón Sur de Tharsis, La Joya) o sobre sus rocas encajantes (Prado Vicioso, en Tharsis) presentan contenidos generalmente altos en Cu, Pb, Ag, As, Sb, Bi, Au y Sn, valores erráticos en Mo y Co, y contenidos bajos en Mn, Ni y B, mientras que los gossan transportados (La Zarza, Río Tinto) son muy pobres en elementos metálicos.

Por el contrario, las rocas volcánicas fuertemente limonitizadas que se encuentran en los niveles estratigráficos más altos de la Faja Pirítica, bajo el Culm, suelen presentar contenidos elevados en Mn y Ni, así como trazas de Co, en aquellos casos en los que no están asociadas con yacimientos de sulfuros, tal y como ocurre en las áreas de Lagunazo y Puerto Colorado. Por ello, para BARBIER (1976) y WILHELM y KOSAKEVITCH (1978), cuando un gossan contiene valores altos en Cu, Pb, As, Au, Bi, Sn y Sb, y bajos en Mn, Ni y Co, puede estar relacionado con un lentejón de sulfuros masivos. En este sentido, MARCOUX (1998) ha demostrado también que la composición de los isótopos de Pb del gossan está relacionada con la presencia de sulfuros masivos, por lo que dicha composición podría ser utilizada

como criterio de exploración en la búsqueda de este tipo de yacimientos.

PRODUCCION DE ORO EN LA FAJA PIRITICA

Prácticamente todo el oro producido en la parte española de la Faja Pirítica Ibérica procede del oro contenido en las monteras limoníticas, en especial la correspondiente al gossan de Cerro Colorado, seguida a distancia por la del Filón Sur de Tharsis y, en cantidad muy accesorio, por las de San Miguel y Valdelamusa. Aunque se debe señalar que una pequeña proporción del oro obtenido en la Faja Pirítica corresponde al contenido en los concentrados de Cu, Pb y Zn de los sulfuros complejos, incluidos los antiguos "morrongos", y otra al oro existente en las cenizas que resultan de la tostación de la pirita destinada a la producción de ácido sulfúrico.

Entre 1970 y 1985, la producción media de oro en la Faja Pirítica fue de unos 2.200 Kg por año, la cual llegó a alcanzar, con la ampliación de la planta de tratamiento de Cerro Colorado en 1980, unos 4.000 Kg anuales. Finalmente, entre 1986 y 1998, la producción aumentó de forma considerable (Tabla I), llegando a sobrepasar en este período las 70 toneladas (algo más de 2.3 M oz) obtenidas a partir de unos 75 M de toneladas de mineral. Esto quiere decir que, entre 1969 y 1998, el total del oro producido a partir del gossan de la Faja Pirítica ha sobrepasado las 106 toneladas, es decir, más de 3.5 M oz, una cifra significativa incluso a escala mundial.

En la Tabla II se indica el tonelaje total (mineral explotado más reservas) de metales básicos y preciosos contenidos en los principales distritos mineros mundiales de sulfuros masivos, los cuales se encuentran en el Paleozoico de Europa y en el Precámbrico de Australia y Canadá. Así se puede comprobar que los sulfuros de la Faja Pirítica Ibérica, que son los que tienen menor ley, han producido sin embargo más oro que el obtenido en cualquiera de los otros distritos, lo cual se debe principalmente al intenso proceso de meteorización que, desde el Mioceno, ha dado lugar a la concentración supergénica del Au en el gossan de los gigantes cuerpos de sulfuros masivos.

	NUMERO YACIMIENTOS	TONELAJE (Mt)	COBRE (Mt)	PLOMO (Mt)	ZINC (Mt)	PLATA (t)	ORO (t)
AUSTRALIA							
Continental	30	334.9	4.2	4.1	12.8	13447	578
Tasmania	6	148.6	1.5	2.5	6.1	7423	156
CANADA							
Provincia Lago Superior	87	769.0	11.8	0.6	25.9	28359	712
Faja Abitibi	40	500.3	9.9	0.4	18.2	20919	656
Rouyn-Noranda-Val d'Or	20	394.3	5.8	-	6.2	5590	596
FAJA PIRITICA IBERICA							
España y Portugal	86	2026.5	18.0	13.6	38.6	49165	887

Tabla II.- Tonelaje total (mineral explotado más reservas) de los tres principales distritos mineros mundiales de sulfuros masivos (Adaptado de LEISTEL et al., 1998).

REFERENCIAS

AMOROS, J. L., LUNAR, R. Y TAVIRA P. (1981): Jarosita: a silver bearing mineral of the gossan of Río Tinto (Huelva) and La Union (Cartagena, Spain): Mineralium Deposita 2: 205-213.

BARBIER, J. (1976): Préliminaires sur la géochimie de la province pyriteuse de Huelva (Espagne): Bull BRGM II-I: 58-59.

GARCIA-PALOMERO, F., BEDIA, J. L., GARCIA-MAGARIÑO, M., Y SIDES, E. J. (1986): Nuevas investigaciones y trabajos de evaluación de reservas de gossan en Minas de Río Tinto: Boletín Geológico y Minero, T. XCVII, 622-642.

ITGE (1996): Panorama Minero 1994-1995: Serv. Publicaciones Minister Industr Energ España.

KOSAKEVITCH, A., GARCIA-PALOMERO, F. LECA, X., LEISTEL, J. M., LENOTRE, N. Y SOBOL, F. (1993): Controles climatique et géomorphologique de la concentration de l'or dans les chapeaux de fer de Río Tinto (Province de Huelva, Espagne): CR Acad Sci Paris, 316-2, 85-90.

LEISTEL, J. M., MARCOUX, E., THIEBLEMONT, D., QUESADA, C., SANCHEZ, A., ALMODOVAR, G. R., PASCUAL, E. Y SAEZ, R. (1998): The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt: Mineralium Deposita, 33, 2-30.

LEISTEL, J. M., MARCOUX, E., DESCHAMPS, Y., Y JOUBERT, M. (1998): Antithetic behaviour of gold in the volcanogenic massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt: Mineralium Deposita, 33, 82-97.

MARCOUX, E. (1998): Lead isotope systematics of the giant massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt: Mineralium Deposita 33, p. 45-58.

MARTIN-GONZALEZ, E. (1981): Mineralogía y génesis del Cerro Colorado (Río Tinto), Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 238 pp.

NUÑEZ, C., ROCA, A., Y ESPIELL, F. (1987): Improved gold and silver recovery from Spanish gossan ores by sulphidization prior to cyanidation: Transations of the Institution of Mining and Metallurgy, C-96: C171.

VIALLEFOND, L. (1994): Cluster analysis on geochemical results from gossans. In: Leistel, J.M. et al. (eds), The massive sulphide deposits of the South Iberian Pyrite Province: geological setting and exploration criteria. BRGM Doc 234: 109-137.

WILHELM, E Y KOSAKEVITCH, A. (1978): Chapeaux de fer. Rapport de synthèse . CR de fin d'étude DGRST, action concertée "Valorisation des ressources du sous-sol". BRGM Rep 78SGN710MGA.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

EL YACIMIENTO EPITERMAL DE ORO DE RODALQUILAR.

Por A. ARRIBAS (*)

R E S U M E N

El yacimiento epitermal de oro-alunita del complejo de calderas de Rodalquilar se encuentra en el campo volcánico mioceno del Cabo de Gata, en el SE de España. Los yacimientos de Au son de dos tipos: filones de cuarzo con Pb-Zn-(Cu-Ag-Au), de baja sulfuración, y la mineralización alunita-Au-(Cu-Te-Sn), de alta sulfuración, que es la más importante desde el punto de vista económico y se encuentra en las zonas de alteración sulfatada ácida del borde oriental de la caldera Lomilla. La datación K/Ar de la alunita de tipo 1 y de la illita hidrotermal de esta zona indica que la mineralización primaria tuvo lugar hace 10,4 Ma. Los resultados obtenidos en el estudio de las paragénesis, distribución de los elementos en trazas, inclusiones fluidas, y los isótopos estables y radiogénicos indican una evolución del sistema hidrotermal, consistente en un período inicial de alteración ácida de las rocas encajantes seguido por uno tardío en el que se depositó la mineralización aurífera. Esta última se extiende hasta 100 m de profundidad y se encuentra en brechas hidrotermales o en una calcedonia negra, bandeada (rica en pirita) que forma vetas o rellena espacios abiertos. En las brechas de alta ley, la mineralización original, formada por calaverita, Te nativo y abundante pirita, está generalmente oxidada y consiste en Au nativo, hidróxidos de Fe, y minerales secundarios de Te, especialmente telurita y rodalquilarita. La intensa meteorización de la mineralización primaria de oro y sulfuros que tuvo lugar entre 4 y 3 Ma produjo una intensa alteración sulfatada ácida consistente con la sistemática de isótopos estables de la alunita de tipo 2 y la caolinita supergénicas.

Palabras clave: Epitermal, Oro, Alunita, Calcedonia, Sulfuración, Rodalquilar, Cabo de Gata, España.

A B S T R A C T

The Rodalquilar epithermal Au alunite deposit occurs within the Rodalquilar caldera complex in the Miocene Cabo de Gata volcanic field in southeastern Spain. The ore deposits consist of low-sulfidation Pb-Zn-(Cu-Ag-Au) quartz veins and the economically most important high-sulfidation alunite Au-(Cu-Te-Sn) ores. The latter are enclosed in areas of acid sulfate alteration in the east margin of the Lomilla caldera. K/Ar dating of the stage 1 alunite and hydrothermal illite indicate an age of mineralization of about 10.4 Ma. The results obtained of paragenetic, trace element distribution, fluid inclusion, and stable and radiogenic isotope analysis indicate an evolution of the hydrothermal system, consisting of an early period of acidic wall-rock alteration and a late period of Au mineralization. The ore extends to present depths of up to 100 m and is hosted by hydrothermal breccias and banded, black (pyrite-rich) chalcedonic quartz veins and open space fillings. Calaverite, native Te, and pyrite disseminated in a chalcedonic matrix form the original Au ore which is generally weathered to an assemblage of native Au, Fe hydroxides and secondary Te minerals, including telurite and rodalquilarite. Oxidation of the primary sulfide Au mineralization between 4 and 3 Ma led to the development of an intense supergene acid sulfate alteration overprint, consistent with the stable isotope systematics of stage 2 alunite and kaolinite formed during this episode.

Key words: Epithermal, Gold, Alunite, Chalcedony, Sulfidation, Rodalquilar, Cabo de Gata, Spain.

INTRODUCCION

El yacimiento epitermal de oro de Rodalquilar se encuentra en un complejo de calderas perteneciente al campo volcánico mioceno del Cabo de Gata, en el SE de España, donde en el Siglo XIX comenzó la extracción de minerales de plomo, plata y zinc en filones de cuarzo situados cerca del pueblo de San José. El oro se descubrió más

tarde, alrededor de 1880, en las proximidades de Rodalquilar, localidad situada unos 15 km al Noreste de San José, y en cuyas proximidades se venían explotando desde hacía mucho tiempo pequeños yacimientos de alunita.

La actividad minera en San José terminó a principios del siglo XIX. Entre 1943 y 1966, el yacimiento de oro fué explotado por la Empresa Nacional Adaro, llegando a ser la producción total de unas 6 toneladas de oro, unas 200.000 oz

(*) E.T.S. Ingenieros de Minas. Madrid

aproximadamente. Finalmente, en 1989, la empresa St. Joe-Transacción trató todavía unas 750.000 toneladas de mineral con una ley de 2,3 g/t. Actualmente ha cesado por completo la actividad minera en la zona, habiendo sido la producción total del distrito de unas 10 toneladas de Au, con contenidos menores en Pb y Zn.

GEOLOGIA DE LA ZONA

El Cabo de Gata es el campo volcánico neógeno más importante de la Península Ibérica. Está formado por rocas cuya composición varía desde andesitas piroxénicas a riolitas, y cuya edad va de 15 a 7 Ma (ARRIBAS, Jr. 1993). A continuación, se resumen en orden cronológico las etapas de la actividad volcánica y los procesos de alteración y mineralización que tuvieron lugar en la zona del Cabo de Gata donde se hallan el complejo de calderas de Rodalquilar y los yacimientos de oro (Fig. 1).

Unidades litológicas premineralización

Colada piroclástica del Cinto y caldera de Rodalquilar. La caldera de Rodalquilar es una estructura de colapso que mide 4 x 8 Km, tiene forma oval y se desarrolló sobre un campo volcánico andesítico constituido por estratovolcanes y conos coalescentes cuya edad es de unos 11 Ma. La caldera de Rodalquilar (Lam. I, 1) se originó por la erupción catastrófica de la colada piroclástica riodacítica del Cinto, que está formada por seis unidades de enfriamiento y tiene una potencia combinada de unos 250 m. La facies intracaldera está constituida por una potente serie (>1.000 m) de coladas piroclásticas y brechas de colapso intercaladas. Después del colapso, varios domos riolíticos que presentan una marcada foliación de flujo hicieron intrusión en el centro y a lo largo del borde estructural de la caldera, especialmente en su margen meridional.

Colada piroclástica de Las Lázaras y caldera de La Lomilla. Después del emplazamiento de los domos hizo erupción la colada piroclástica de Las Lázaras, en el domo resurgente que se formó en el centro de la caldera de Rodalquilar, lo que dio lugar a la formación de la caldera de La Lomilla,

de unos 2 Km de diámetro. La colada riodacítica de Las Lázaras se depositó principalmente en el foso de la caldera de Rodalquilar, donde llegó a tener una potencia máxima de 100 m.

Coladas de andesitas hornbléndicas y resurgencia tardía. A continuación se emplazaron las coladas, diques y chimeneas de andesitas porfídicas hornbléndicas que afloran en el centro, bordes, y fuera de la caldera de Rodalquilar. Esta actividad volcánica, que fué acompañada por un abombamiento de la parte central de la caldera, condujo a la apertura de numerosas fallas y fracturas, y al desarrollo de los grandes sistemas hidrotermales que dieron lugar a la formación de los yacimientos epitermales de oro-alunita. El hecho de que las andesitas estén alteradas unas veces sí y otras no por los procesos hidrotermales que dieron lugar a la mineralización, indica que esta última ocurrió durante las fases iniciales del volcanismo andesítico, pero que terminó antes de que se emplazaran las últimas coladas hace 9 Ma.

Los estudios geofísicos realizados por ENADIMSA han puesto de manifiesto la existencia de dos anomalías positivas, una gravimétrica y otra magnética, de dirección E-O, en la parte central de la caldera de Rodalquilar (Fig. 2). Estas anomalías están relacionadas probablemente con la intrusión de un magma diorítico que se emplazó en la base de la pila volcánica durante la última fase de la evolución de la caldera, y cuyos equivalentes efusivos serían las coladas de andesitas piroxénicas que se depositaron sobre las ignimbritas de Las Lázaras.

Unidades litológicas post-mineralización

El último episodio volcánico en la zona de Rodalquilar, que no tiene relación con la formación de la caldera, está representado por las coladas, brechas, chimeneas y diques de andesitas piroxénicas, no alteradas por los procesos mineralizadores, que se emplazaron entre 8.4 y 7.5 Ma. Estas unidades, que se disponen según una alineación que cruza en dirección NE-SO el campo volcánico del Cabo de Gata, y que son las más primitivas desde el punto de vista geoquímico en el área de Rodalquilar, delimitan el período de actividad hidrotermal.

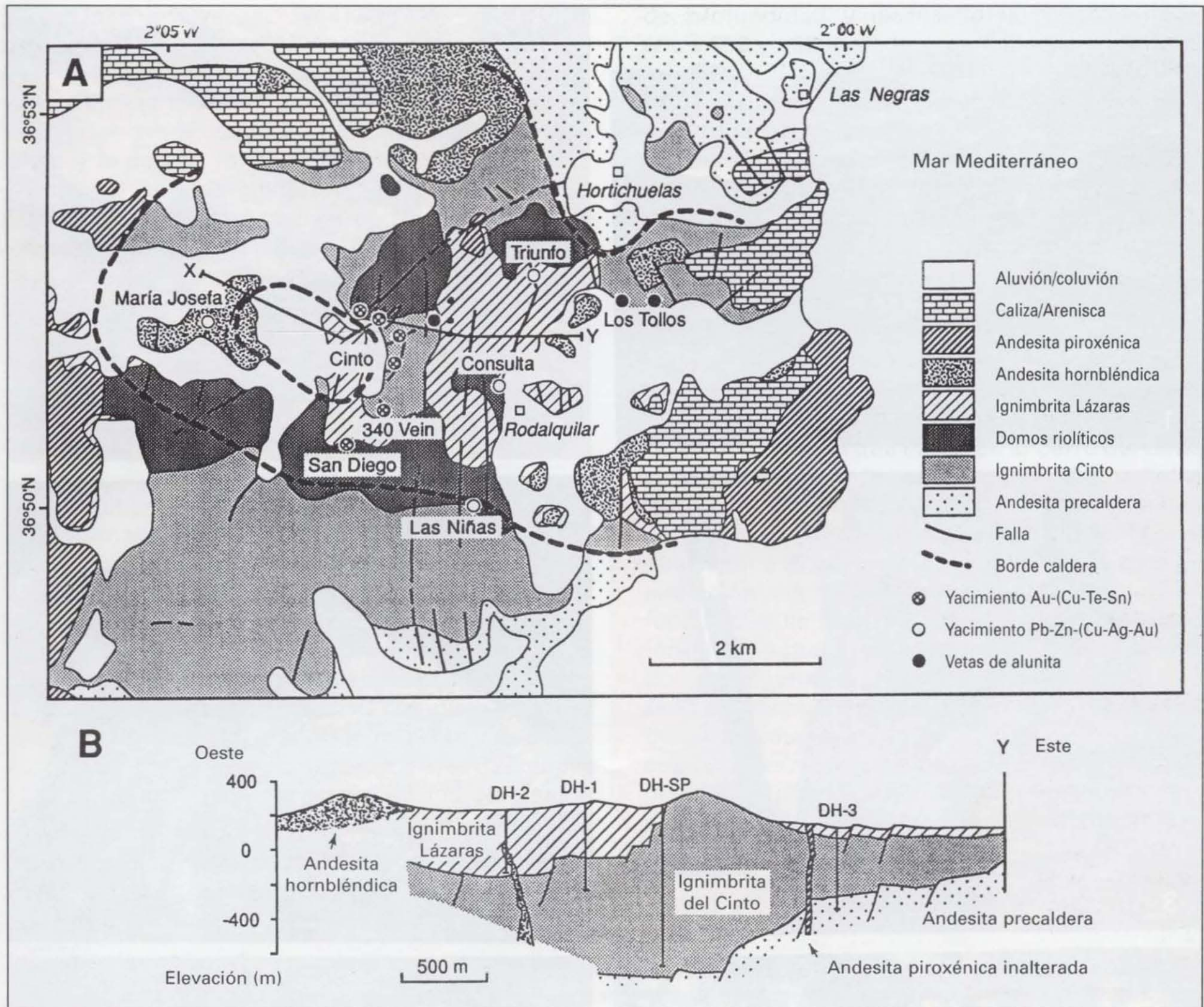
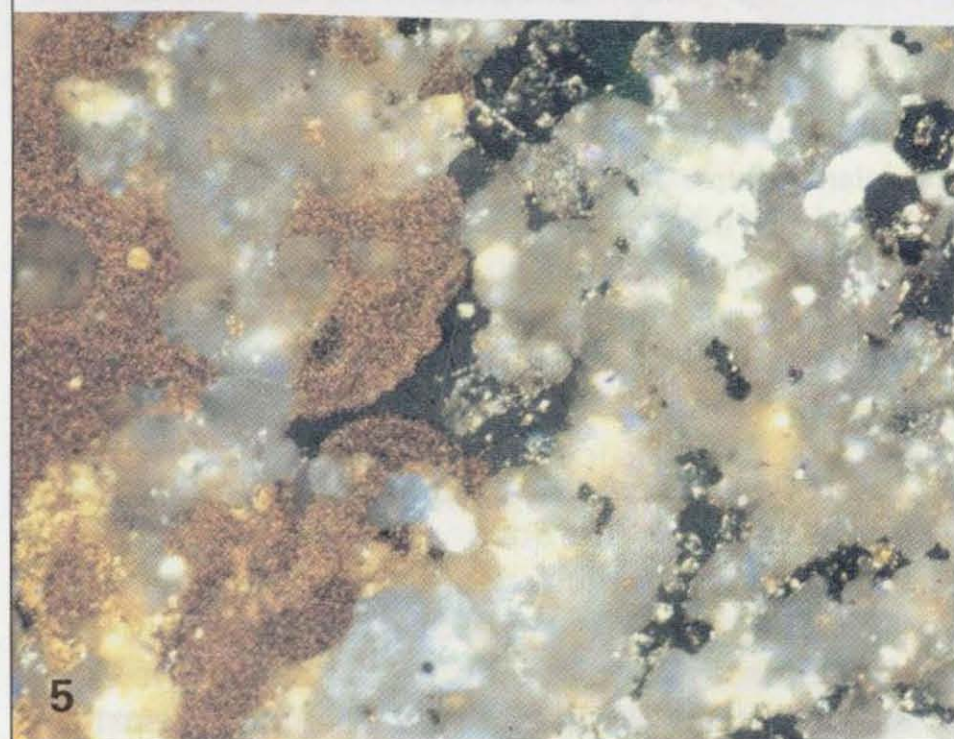
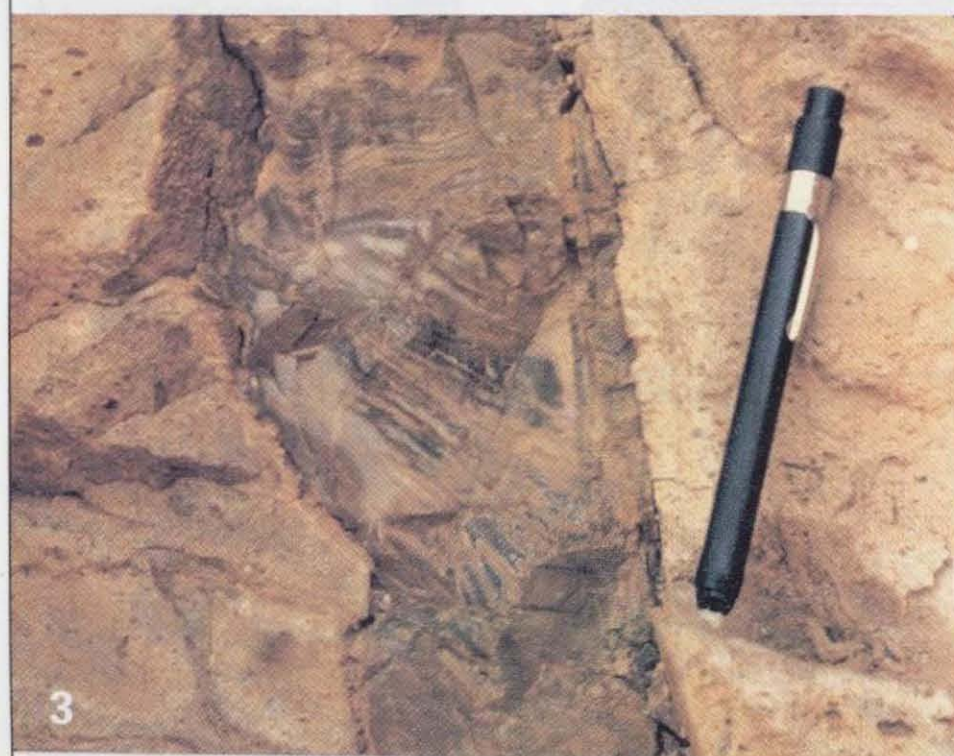
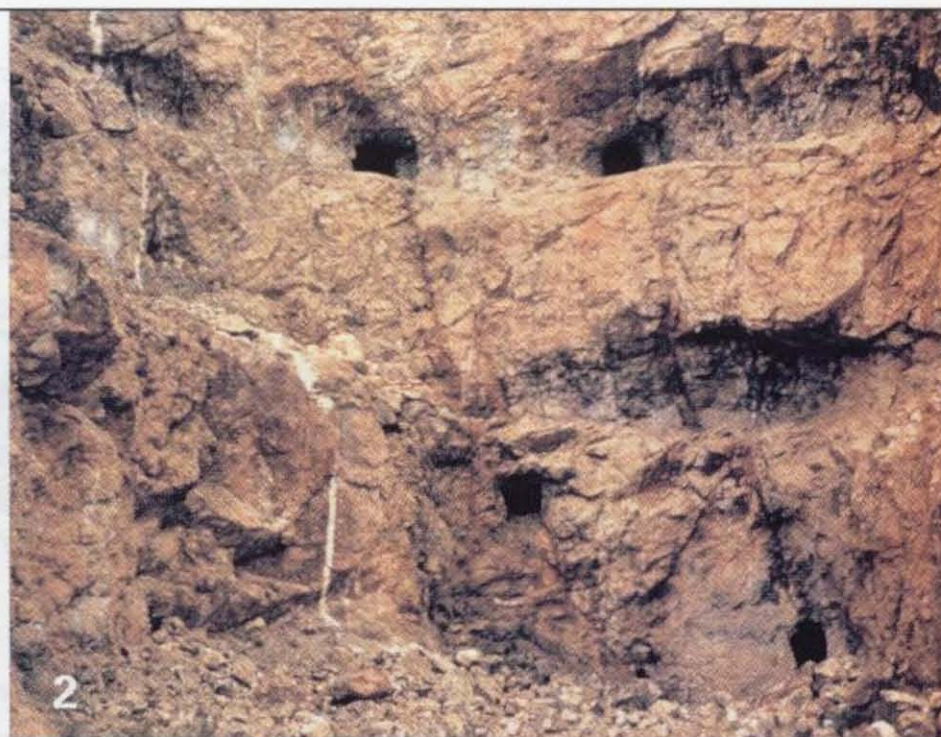


Figura 1.- (A) Esquema geológico del complejo de calderas de Rodalquilar en el que se indica la situación de los principales yacimientos. (B) Sección transversal según X-Y.

Después del emplazamiento de las andesitas piroxénicas, una subsidencia regional condujo al depósito de más de 200 m de sedimentos marinos de poca profundidad. Los restos de estos complejos arrecifales, de edad Tortonense y Messiniense, están formados por conglomerados, calizas fosilíferas, calcarenitas y margas que afloran en los bordes oriental y occidental de la caldera de Rodalquilar, así como en otros puntos del campo volcánico del Cabo de Gata, a unos 200 m sobre el nivel del mar (ARRIBAS, Jr. 1993).

ALTERACIONES HIDROTERMALES

Todas las rocas del área de Rodalquilar están intensamente alteradas por lo que frecuentemente es muy difícil reconocer su textura original (ARRIBAS, Jr. et al., 1995). Sin embargo, una excelente discriminación de las diferentes zonas de alteración hidrotermal se consigue a partir de las bandas espectrales del Mapa Temático obtenido con el Landsat-5 combinando y proyectando las relaciones de bandas TM5/TM7, en rojo,



TM5/TM4, en verde, y TM3/TM1, en azul (ARRIBAS, Jr. 1993; ARIBAS, Jr. et al., 1995). Así, en la imagen compuesta en color destacan con gran claridad las dos zonas mineralizadas existentes en la caldera de Rodalquilar, la del Cinto y la de Los Tollos, las cuales se ponen de manifiesto por los colores blancos y amarillos que producen las rocas con abundante caolinita y alunita. Estas dos zonas del Cinto y Los Tollos coinciden además con las dos anomalías, gravimétrica y magnética, a las que se acaba de hacer referencia.

Alteración hipogénica:

Zonación y tipos (Alunita de tipo 1)

Todos los complejos procesos de alteración hidrotermal que tienen lugar en los sistemas epitermales de alta sulfuración (propilítica, sericitica, arcillica intermedia, arcillica avanzada, y silicica) están representados en el yacimiento de Rodalquilar. Todos ellos se presentan zonados, tanto horizontal como verticalmente, alrededor de dos focos situados dentro del complejo de calderas de Rodalquilar, el central del Cinto y el lateral de Los Tollos (Fig. 3), estando mejor definido el primero como consecuencia de los sondeos realizados, los cuales han sobrepasado los 900 m

de profundidad y alcanzado la zona sericitica entre 300 y 500 m de la superficie.

Zona de alteración silicica: Está representada esta zona por cuerpos irregulares que están formados tanto por sílice residual oquerosa como por roca totalmente silicificada, y que aparecen rodeados por halos de alteración arcillica avanzada. Las rocas silicificadas son menos abundantes y están restringidas a las salbandas de algunos filones de cuarzo, brechas hidrotermales, y pequeñas fracturas. Las zonas de sílice oquerosa están controladas por fallas y fracturas localizadas principalmente en el borde oriental de la caldera Lomilla (Lam. I, 2). La amplia zona (> 500 m²) de sílice oquerosa que existe en el Cerro del Cinto es el resultado de la superposición de los halos de alteración silicica desarrollados sobre una densa red de fracturas, zona donde las leyes pueden llegar a alcanzar hasta 5 g/t de Au. La zona de alteración silicica llega hasta los 100 m de profundidad, y se extiende localmente hasta 250 m formando estrechas envolturas (< 0,5 m) alrededor de algunas fracturas más profundas. Esta zona de alteración está formada por un mosaico de cuarzo micro a criptocristalino que contiene, como minerales accesorios, pequeñas cantidades de rutilo y anatasa (según hornblenda y biotita), zircón, hematites, jarosita, alunita de tipo 1,

LAMINA I

1.- Vista aérea del borde topográfico oriental de la caldera Lomilla, en cuya pared se encuentra la corta del Cerro del Cinto. Detrás, a la izquierda, se ve el Cerro de la Hortichuela, un domo riolítico situado en el borde septentrional de la caldera de Rodalquilar (Fig. 1). Al fondo, en el centro, se encuentra el yacimiento de alunita de Los Tollos, y a la derecha, junto a la antigua balsa de estériles, el pueblo de Rodalquilar.

2.- Labores mineras en los filones de cuarzo aurífero del Cerro del Cinto. Las rocas encajantes pertenecen a las coladas piroclásticas riolíticas, fuertemente silicificadas, alunitizadas y caolinizadas, que se depositaron en el interior de la caldera de Rodalquilar.

3.- Aspecto de una de las fracturas rellenas de calcedonia negra, bandeada, con alto contenido en Au (0,4 a 380 g/t), que constituye la mineralización primaria. La textura de la calcedonia indica que el depósito fue inicialmente sílice amorfa, y que ésta recrystalizó posteriormente en forma de ópalo y calcedonia. El color rojizo de la roca se debe a la hematites y jarosita resultantes de la oxidación de la pirita diseminada en la calcedonia.

4.- El filón 340, que produjo una tonelada de oro y tuvo una ley media de 43 9/t, fue una brecha de explosión hidrotermal formada, como se ve en la figura (tamaño natural) por fragmentos líticos de sílice oquerosa, rocas con alteración arcillica avanzada y cuarzo calcedonioso, rodeados por una matriz de calcedonia blanca que contenía el oro nativo formado por oxidación de la calaverita.

5.- Vista al microscopio de una sección pulida que muestra el contacto entre la mineralización primaria (derecha), constituida por calaverita, Te nativo y pirita, y los minerales oxidados (izquierda) formados por una mezcla de grano muy fino de Au nativo y telurita, acompañados por rodalquilarita (reflexiones internas amarillo-verdosas). La escala mide 50 nm.

6.- Vetas de alunita supergénica (tipo 2) y jarosita en las tobas riolíticas, intensamente caolinizadas, que constituyen las rocas encajantes del yacimiento epitermal de Au de alta sulfuración del Cerro del Cinto.

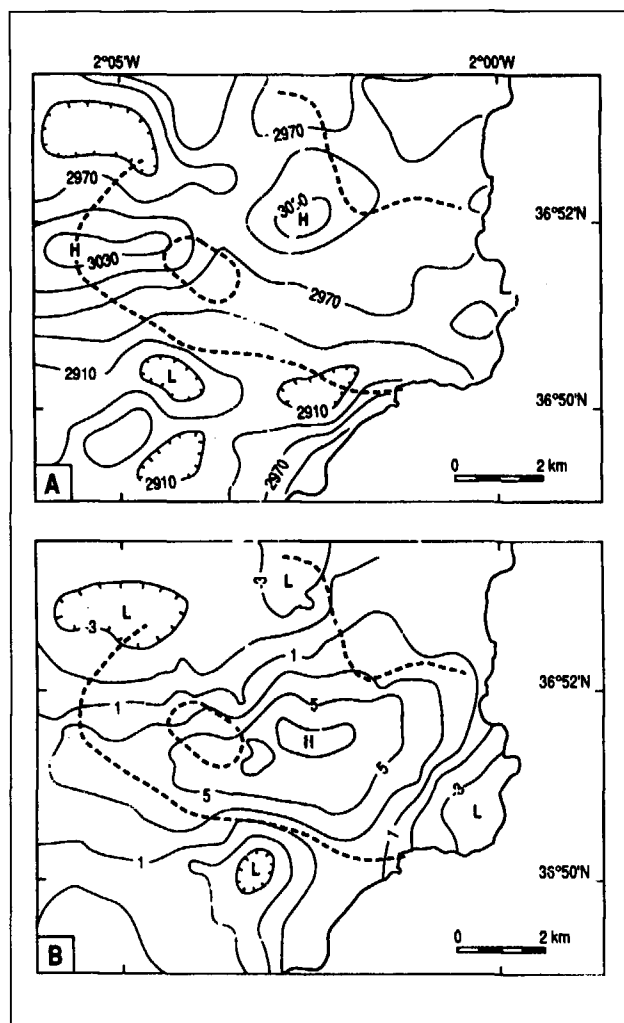


Figura 2.- Situación de las anomalías aeromagnética residual (A) y gravimétrica de Bouger (B) en el complejo de calderas de Rodalquilar. Las isogradas (líneas continuas) corresponden a 30 Teslas y 2 mgals, respectivamente. Las líneas de trazos indican el borde de las calderas

caolinita, zunyita, escorodita, barita, y sulfo-fosfatos de aluminio, incluyendo entre ellos woodhousita-svanbergita, y florencita.

Zona de alteración arcílica avanzada (Alunita tipo 1): La amplia zona (> 0,5 km²) de alteración arcílica avanzada que rodea en el Cerro del Cinto los cuerpos de sílice oquerosa contiene la mayor parte de los yacimientos de oro de Rodalquilar. En esta zona, que llega a alcanzar más de 300 m de profundidad, se distinguen dos subzonas. La primera, que es adyacente a la zona de sílice

oquerosa y está formada por cuarzo + alunita ± caolinita, pasa a otra subzona donde la illita y la illita-smectita son cada vez más abundantes. Además de cuarzo, en la zona de alteración arcílica avanzada hay cantidades variables de alunita tipo 1, de origen hidrotermal, caolinita-dickita, pirita, pirofilita, e illita. La roca tiene textura sacaroidea y color blanco o rosáceo, lo que depende de la cantidad relativa de caolinita y alunita, respectivamente. Los principales minerales accesorios son diaspora, rutilo o anatasa, svanbergita-woodhousita, crandalita, florencita, zunyita, y pequeñas cantidades de covelina, enargita y bornita.

La alunita de tipo 1, característica de esta zona, se presenta en forma de cristales tabulares que tienen de 10 µm a 3 mm de sección y color rosa claro. Estos cristales o bien reemplazan a feldespatos y fragmentos de pómez y, junto con pirita, y por debajo de la zona de oxidación de los sulfuros, a anfíboles y biotita, o bien forman agregados junto con pirita y zunyita en la matriz de las brechas hidrotermales. Esta alunita es químicamente heterogénea, pues contiene núcleos de woodhousita-svanbergita, crandalita y florencita, y tiene una alta relación Na/K, hasta 0,4 (Fig. 4).

Zona de alteración arcílica intermedia: Esta zona está constituida por un amplio conjunto de rocas sometidas a un variable grado de arcillización. Los minerales que la forman son cuarzo, caolinita, illita, illita-esmectita, feldespato K, hematites, goethita, pirita, y pequeñas cantidades de alunita, pirofilita y diaspora.

Zona de alteración sericítica: Esta zona está bien desarrollada a partir de los 300 m de profundidad en las tobas que forman el relleno de la caldera de Rodalquilar, en el área del Cerro del Cinto. La composición mineralógica de las rocas alteradas es muy sencilla y consiste en illita, cuarzo y pirita, pequeñas cantidades de rutilo y trazas de caolinita, diaspora y alunita. La sericita de grano más grueso forma, junto con cuarzo y pirita, agregados compactos que rellenan y/o recubren las paredes de pequeñas fracturas. La clorita aumenta con la profundidad, y la pirita, que constituye el 5% en volumen de la roca, contiene inclusiones de calcopirita, esfalerita, galena, tenantita y bornita.

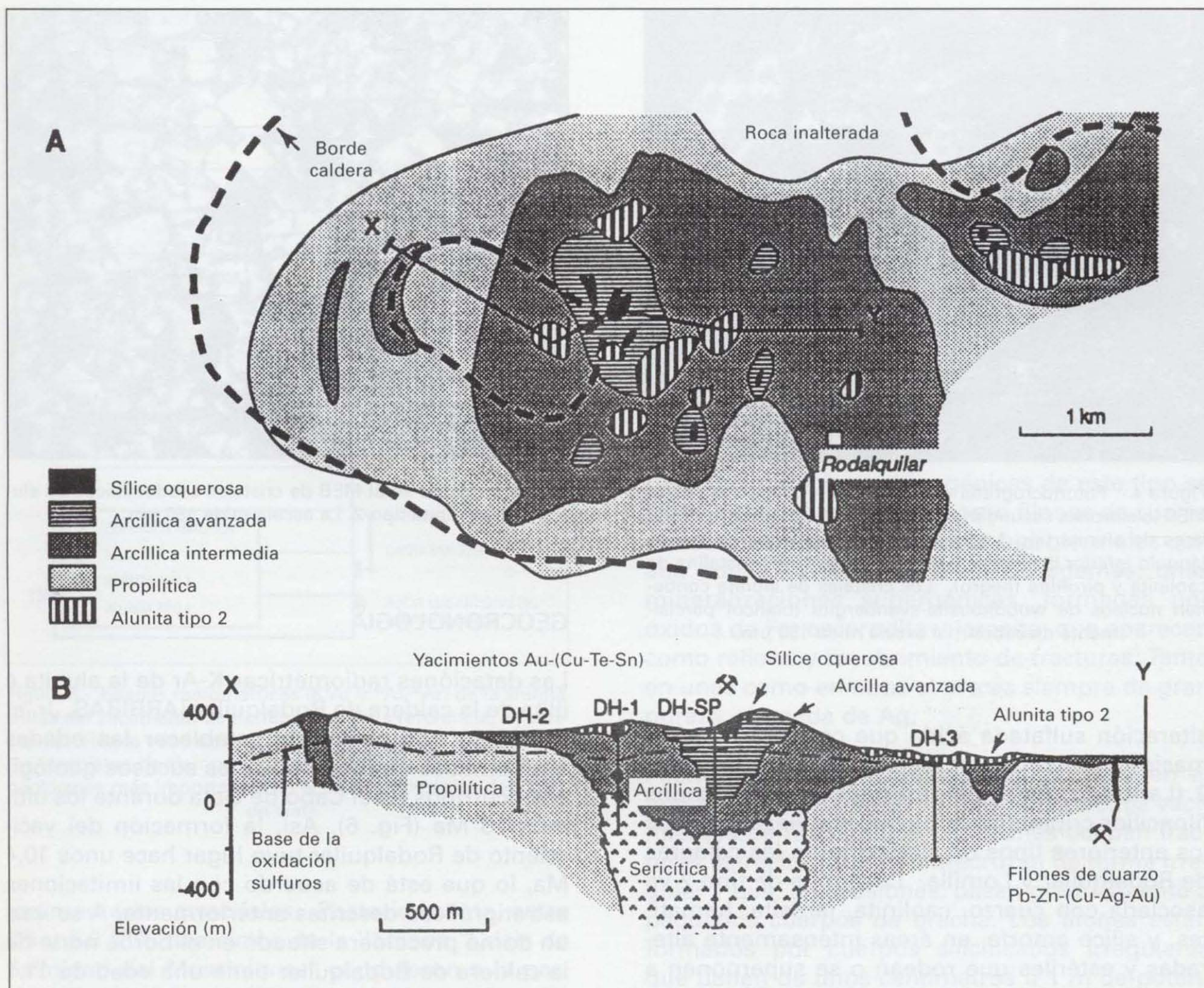


Figura 3.- Mapa esquemático (a) y sección transversal según X-Y (B) en donde se indica la situación de la mineralización epitermal de oro de alta sulfuración y la de los procesos de alteración.

Zona de alteración propilítica: Las zonas de alteración arcílica, en las que se incluye la alteración sericítica, pasan gradualmente a otras zonas de alteración propilítica constituidas por cuarzo, clorita, feldespato K, vermiculita, illita, esmectita, hematites, goethita, y plagioclasa primaria, así como por pequeñas cantidades de calcita, la cual forma también vetillas en las rocas de superficie. Por debajo de la zona de oxidación, la pirita y subordinada calcopirita constituyen del 2 al 5 % en volumen de la roca, y están acompañadas ocasionalmente por esfalerita y galena. La epi-

dota abunda localmente a partir de los 150 m de profundidad como producto de alteración de las intrusiones de pórfidos de andesitas hornbléndicas.

Alteración supergénica sulfatada ácida (Alunita de tipo 2)

Además de la actividad hidrotermal que dió lugar a la formación de la alunita hipogénica de tipo 1, tuvo lugar en Rodalquilar un segundo período de



Figura 4.- Fotomicrografía de una sección pulida vista en el MEB (electrones secundarios) en la que se ven cristales tabulares de alunita tipo 1 (gris claro) acompañados de cuarzo (ángulo inferior izquierdo) y de una matriz criptocristalina de caolinita y pirofilita (negro). Los cristales de alunita contienen núcleos de woodhousita-svanbergita (blanco) parcialmente disueltos. La escala mide 150 μm .

alteración sulfatada ácida que condujo a la formación de alunita supergénica, la llamada de tipo 2 (Lam. I, 6). Este tipo de alunita forma delgados filoncillos criptocristalinos que atraviesan a todos los anteriores tipos de alteración en las calderas de Rodalquilar y Lomilla. La alunita de tipo 2 va asociada con cuarzo, caolinita, jarosita, hematites, y sílice amorfa, en áreas intensamente alteradas y estériles que rodean o se superponen a veces a los núcleos de alteración arcílica avanzada. Ocasionalmente, el progresivo reemplazamiento de la roca de caja da lugar a cuerpos de alunita pura que tienen hasta 50 cm de potencia y que han sido explotados para la obtención de alumbre. En general, la alunita supergénica no aparece en cantidades importantes por debajo de los 100 m, que es el nivel de oxidación de los sulfuros. La alunita de tipo 2 es de grano fino (formada por cristales submicroscópicos de hasta 50 micras) y pseudocúbica (Fig. 5), por combinación de dos pirámides trigonales, positiva y negativa, que da lugar a formas romboédricas con ángulos próximos a 90° . A diferencia de la alunita de tipo 1, la de tipo 2 es siempre rica en K ($\text{Na/K} < 0,05$) y no está asociada con pirita, zunyita, o diaspora. Puede contener, sin embargo, bandas submicroscópicas de sulfo-fosfatos de Ca y Sr.

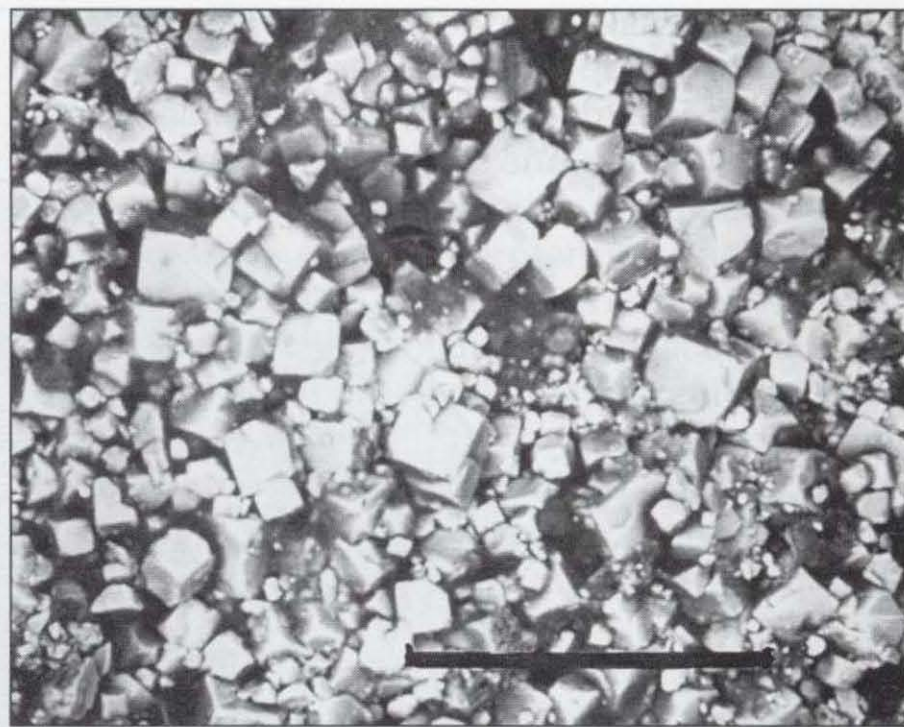
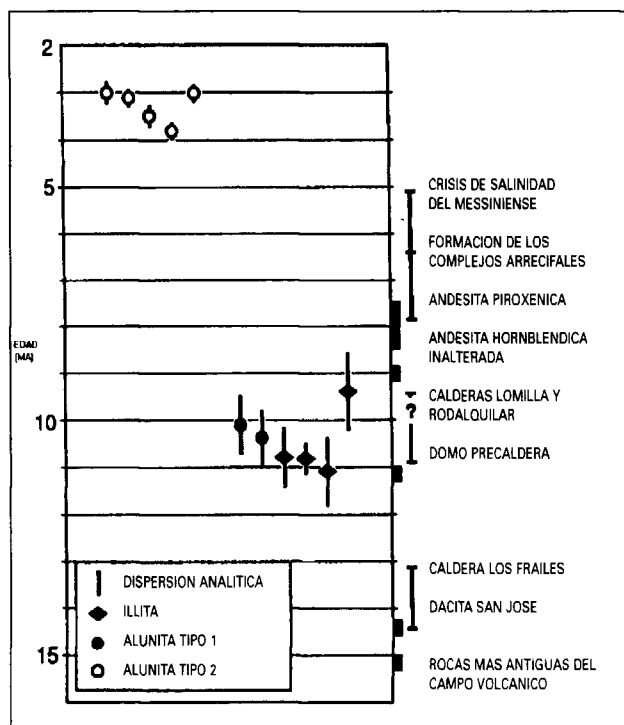


Figura 5.- Vista en el MEB de cristales pseudocúbicos de alunita tipo 2. La escala mide 150 μm .

GEOCRONOLOGIA

Las dataciones radiométricas K-Ar de la alunita e illita de la caldera de Rodalquilar (ARRIBAS, Jr. et al., 1995) han permitido establecer las edades aproximadas de los principales sucesos geológicos ocurridos en el Cabo de Gata durante los últimos 15 Ma (Fig. 6). Así, la formación del yacimiento de Rodalquilar tuvo lugar hace unos 10,4 Ma, lo que está de acuerdo con las limitaciones estratigráficas descritas anteriormente. A su vez, un domo precaldera situado en el borde norte de la caldera de Rodalquilar tiene una edad de 11,1 Ma, lo que implica que la erupción de las ignimbritas del Cinto y las Lázaras, y el colapso asociado que dió lugar a la formación de las calderas de Rodalquilar y Lomilla, respectivamente, así como al depósito de los sedimentos que rellenan sus fosos, parece haber ocurrido durante un período de tiempo que no sobrepasa 1 Ma. Por otra parte, las edades K-Ar y ^{40}Ar - ^{39}Ar de la alunita de tipo 2, más los análisis de la sistemática isotópica del S y el O, demuestran que esta alunita es de origen supergénico.

La edad de las alteraciones supergénicas en la región del Cabo de Gata está delimitada por el emplazamiento de las últimas coladas de andesitas hornbléndicas, no alteradas, y la erupción póstuma de las andesitas piroxénicas, a la cual siguió el depósito de más de 200 m de materiales



Yacimientos de Au-(Cu-Te-Sn)

Estas mineralizaciones se encuentran preferentemente en fracturas radiales y tangenciales situadas en la pared oriental de la caldera Lomilla (Lam. I, 1 y 2). Las rocas encajantes son domos riolíticos y tobas, y brechas intracaldera de las Lázaras y el Cinto, así como chimeneas de andesitas hornbléndicas fuertemente alteradas. Los minerales auríferos se encuentran casi exclusivamente en las rocas que presentan intensa alteración silícica, y que son las que contienen el 80% del oro de Rodalquilar, sin que ninguno de los trabajos mineros haya sobrepasado los 100 m de profundidad.

Las mineralizaciones hipogénicas de este tipo se presentan en dos formas: como filones de cuarzo calcedonioso y como brechas hidrotermales con alto contenido en Te y Sn. Hay, además, unas mineralizaciones supergénicas, formadas por óxidos de Fe, escorodita y jarosita, que aparecen como relleno y recubrimiento de fracturas. Tanto en unas como en otras el oro es siempre de gran pureza, sin nada de Ag.

Filones de cuarzo calcedonioso: Constituyen el tipo más importante y representativo de los yacimientos de Rodalquilar. Los filones ocupan fracturas estrechas que se entrecruzan de forma irregular y que, en ocasiones, pasan gradualmente a pequeños cuerpos de brecha. Los filones están formados por cuerpos silicificados irregulares que tienen de unos centímetros a 1 m de potencia, y cuyo interior está constituido por fragmentos de las rocas encajantes envueltos por una matriz de calcedonia masiva o bandeada, que tiene color blanco, gris o negro según el contenido en sulfuros, y que es la principal portadora del Au (Lam. 1, 3).

Una pirita de grano fino ($<10\ \mu\text{m}$) constituye el 95% de los minerales metálicos de la calcedonia negra, estando formado el 5% restante por galena, esfalerita, enargita, tetraedrita, tennantita, cinabrio rico en Se, iodirita, colusita, casiterita, bismutinita, y probablemente emplectita. El Au nativo se encuentra en forma de granos aislados o como intercrecimientos dentro de la pirita. El bandeado de la calcedonia negra, generalmente subhorizontal y con texturas geopetales (deslizamientos y estratificación cruzada), lo que

sedimentarios arrecifales. Posteriormente, entre 6,5 y 5,0 MA, dos ciclos de la llamada "Crisis de Salinidad del Messiniense" condujeron a la parcial desecación del Mediterráneo, lo que dio lugar a la erosión acelerada del campo volcánico. Entonces, la remoción de la cobertera sedimentaria permitió que la zona de sulfuros quedara expuesta a la meteorización y se produjera la alteración sulfatada ácida supergénica que tuvo lugar entre hace 4 y 3 Ma.

YACIMIENTOS MINERALES Y MINERALIZACION

Los yacimientos minerales del complejo de calderas de Rodalquilar son de dos tipos (ARRIBAS, Jr. et al., 1995). Uno corresponde a filones de cuarzo con Pb-Zn-(Cu-Ag-Au), y otro a las mineralizaciones, más importantes desde el punto de vista económico, constituidas por la paragénesis Au-(Cu-Te-Sn).

sugiere un depósito coloidal a partir de fluidos hidrotermales, se pone de relieve por la meteorización de la pirita, la cual está generalmente transformada en hematites y jarosita. Estas características morfológicas parecen indicar que la sílice precipitó primero como sílice amorfa, y que después recristalizó como cristobalita u ópalo-CT para pasar finalmente a calcedonia y cuarzo.

El contenido en Au de la calcedonia negra, de 0,4 a 380 g/t, es muy variable, pero es generalmente más alto que en cualquier otro tipo de roca. Otras mineralizaciones económicas se encontraban también en la sílice oquerosa (0,13-13 g/t), en algunas muestras de calcedonia blanca (0,08-4,1 g/t), y en rocas con alteración arcílica avanzada (0,02-2,5 g/t). En general, el análisis todo uno de la calcedonia negra indica cantidades variables, pero significativas, de Cu, As, Se, Ag, Sn, Sb, Au, Hg y Te, elementos todos ellos característicos de los yacimientos epitermales. Los contenidos en Ba y Zn son bajos, inferiores a los de las rocas frescas, y los valores Rb/Sr son muy bajos (<0,05), semejantes a los de la sílice oquerosa y a los de las rocas con alteración arcílica avanzada.

Brechas hidrotermales enriquecidas en Te y Sn: Se caracterizan estas brechas por su alta ley en Au asociada con altos contenidos en Te y Se. El mejor ejemplo fué el filón 340, que produjo casi una tonelada de oro y tuvo una ley media de 43 g/t Au, con intervalos superiores a 500 g/t Au (Lam. I, 4). El filón 340 correspondía a una brecha de erupción hidrotermal formada por fragmentos líticos angulares (1 a 10 cm de sección) de sílice oquerosa, de rocas con alteración arcílica avanzada, y ocasionalmente de cuarzo calcedonioso, rodeados por una matriz de calcedonia blanca. Los minerales primarios se encuentran en los rebordes de calcedonia negra, de 1 a 5 mm de ancho, que rodean algunos fragmentos líticos, y que contienen calaverita, Te nativo, y pirita de grano fino (Lam. I, 5). Sin embargo, rara vez se conservan estos minerales, los cuales están reemplazados por un conjunto oxidado formado por Au nativo, telurita, rodalquilarita (el filón 340 es la localidad tipo de este mineral), goethita, emmonsita, y un compuesto coloidal de Fe y Te que es probablemente blakeita. Otros minerales presentes en el filón 340 son pirita, enargita, casiterita, bornita, naumannita, y un seleniuro de Cu

que corresponde a umangita o klockmannita. La casiterita (cartón de montaña) es tardía, y forma costras, o rellena espacios abiertos, en las salbandas silicificadas de los filones. La presencia de alunita pseudocúbica del tipo 2 sugiere que la removilización supergénica del Au fue, por lo menos, 7 Ma más joven que la mineralización hipogénica de Au-Te.

Filones de cuarzo con Pb-Zn-(Cu-Ag-Au)

Los filones de cuarzo con metales básicos se disponen en la periferia del núcleo central de rocas alteradas hidrotermalmente, y a lo largo de fallas de dirección Norte-Sur que atraviesan todas las unidades volcánicas del complejo de calderas de Rodalquilar, excepto las coladas de andesitas piroxénicas más jóvenes (Fig. 1). Las paragénesis de estos filones (Consulta, San Diego, María Josefa, etc.) están formadas por galena, esfalerita, pirita y calcopirita, la cual está normalmente alterada en digenita y covelina. Pequeños granos de Au nativo (<20 µm) se encuentran en todos los yacimientos de este grupo, cuya ganga está formada por bandas concéntricas de cuarzo cristalino, de grano grueso, que alternan con otras delgadas (<3mm) de cuarzo opaliforme. Las características de estos filones, cuyas rocas de caja están frecuentemente afectadas por estrechas zonas de alteración con sericita y adularia, son típicas de los yacimientos de oro epitermales de baja sulfuración. Sin embargo, aunque no se conoce con precisión la relación temporal entre los filones de metales básicos y los yacimientos de oro situados en el centro de la caldera, la formación de ambos tipos de yacimiento está delimitada por los mismos factores estratigráficos: los dos tipos son posteriores a las andesitas hornbléndicas precoces y anteriores a las andesitas piroxénicas.

INCLUSIONES FLUIDAS

El estudio de las inclusiones fluidas contenidas en cristales de cuarzo de origen hidrotermal e ígneo (ARRIBAS, Jr. et al., 1995) procedentes de filoncillos asociados con la mineralización y con las rocas encajantes, respectivamente, ha permitido, junto con el empleo de otros métodos, determinar la temperatura y composición de los

fluidos relacionados con la formación del yacimiento de Rodalquilar. Los resultados del estudio se resumen en los siguientes puntos:

1. En el intervalo de profundidades en el que se encuentra actualmente la mineralización (0 a 100 m) y la zona de alteración arcílica avanzada (0 a 300 m), la salinidad de las inclusiones fluidas varía ampliamente (2-15 % y 2-30 % en peso equiv. NaCl, respectivamente), al tiempo que las temperaturas de homogenización lo hacen entre 170° y 300°C, con un máximo entre 220° y 280°C.
2. En la zona de alteración sericítica (>450 m bajo la superficie actual), las temperaturas de homogenización varían entre 220° y 450°C, con una población de inclusiones, probablemente primarias, entre 350° y 420°C.
3. En los testigos de sondeo más profundos se han identificado inclusiones fluidas que presentan altas temperaturas de homogenización (>400°C) y altas salinidades (8-45 % en peso equiv. NaCl), las cuales coexisten con inclusiones de salinidad baja, ricas en vapor, que se formaron probablemente a presión litostática.

Estas últimas inclusiones, altamente salinas, que son típicas de ambientes magmáticos hidrotermales profundos, tales como los de los pórfidos cupríferos, en los que existen las mismas zonas de alteración que en Rodalquilar, podrían reflejar la presencia aquí de un ambiente próximo al de la alteración potásica que no ha sido observado hasta ahora en Rodalquilar. Por ello, es muy probable que estas inclusiones tengan un origen directamente magmático, lo que parece confirmarse por la sistemática de los isótopos estables.

GEOQUIMICA ISOTOPICA

Isótopos estables

En un yacimiento tan joven como es el caso de Rodalquilar, en el que los procesos geológicos han sido relativamente sencillos y no se han producido modificaciones importantes de la composición isotópica original, el estudio de los isótopos estables (H, O, S, Sr, Pb), llevado a cabo sobre una amplia variedad de minerales y rocas (ARRIBAS, Jr. et al., 1995), ha permitido caracteri-

zar la fuente de dichos elementos. Especialmente importante ha sido el estudio de la sistemática isotópica de la alunita, pirita, y caolinita dada la abundancia de estos minerales en Rodalquilar y el gran potencial que ella tiene para proporcionar informaciones críticas sobre las condiciones de formación de estos minerales (RYE et al., 1992) y, por lo tanto, sobre el origen del yacimiento.

Por lo que se refiere al azufre, los valores moderadamente altos de $\delta^{34}\text{S}$ (0,6-7%) de la pirita y otros sulfuros de Rodalquilar se superponen a los de las rocas volcánicas no alteradas del complejo de calderas, y sugieren una derivación ígnea del S de los sistemas hidrotermales. En cuanto a los dos grupos de sulfatos definidos por los valores de $\delta^{34}\text{S}$ (22,3-31,0%, en la alunita 1 y barita, y 5,3-10,3%, en la alunita 2 y jarosita), ellos reflejan la presencia de dos orígenes: magmático hidrotermal para el primer grupo, y supergénico para el segundo. Por otra parte, las temperaturas isotópicas calculadas utilizando el par pirita-alunita varían entre 220° y 330°C, las cuales son consistentes con las obtenidas a partir de las inclusiones fluidas.

En lo que concierne a las relaciones isotópicas entre el oxígeno y el azufre de los sulfatos, los valores obtenidos indican: (a) que el sulfato de la alunita 1 procede de fluidos magmáticos, con sólo una pequeña mezcla de aguas meteóricas; (b) que las temperaturas de formación del par pirita-alunita 1 son consistentes con las obtenidas a partir de las inclusiones fluidas; (c) que las relaciones $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4$ son semejantes a las de los yacimientos de alta sulfuración; y (d) que los valores $\Delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4\text{-OH}}$ de la alunita 2 son característicos de la alunita supergénica.

Las relaciones isotópicas entre el oxígeno y el hidrógeno de los fluidos que dieron lugar a la mineralización y a la alteración hipogénica se han determinado a partir de la composición de: (a) la illita de la zona de alteración sericítica; (b) la alunita 1, recogida en superficie y en los 200 m superiores de los testigos de sondeo; y (c) la caolinita 2 de la zona de alteración cuarzo-caolinita adyacente a la zona de la alunita 1. Además, las relaciones isotópicas del O se han determinado sobre muestras mineralizadas y estériles de cuarzo calcedonioso y sílice oquerosa, y sobre algunas de cuarzo hidrotermal procedente de la

zona sericítica. Las temperaturas utilizadas para calcular la composición isotópica de los fluidos se han obtenido a partir de los datos proporcionados por el estudio textural y por el análisis de las inclusiones fluidas y el par pirita-alunita.

Basándose en el cálculo de la composición isotópica de los fluidos, la sílice oquerosa y parte de la alunita de tipo 1 parecen haberse formado a partir de fluidos magmáticos mezclados con pequeñas cantidades de agua meteórica. Los fluidos responsables de la formación de caolinita, illita, y cuarzo en profundidad contienen también un componente magmático importante.

Por último, las relaciones isotópicas entre el oxígeno y el hidrógeno de los fluidos que dieron lugar a la alteración supergénica se basan en el modelo desarrollado por RYE et al. (1992). De acuerdo con este modelo, la sistemática isotópica del O y del H de la alunita 2, así como el de la caolinita 2 que la acompaña, demuestran sin lugar a dudas el origen supergénico de ambos minerales.

Isótopos radiogénicos

El estudio de los isótopos radiogénicos (Sr y Pb) en Rodalquilar ha servido para identificar las rocas fuente, evaluar la eventual intervención del agua del mar en la formación de los fluidos hidrotermales y supergénicos, y delimitar el tamaño de los sistemas convectivos (ARRIBAS, Jr. et al., 1995).

Por lo que se refiere al Pb, las relaciones isotópicas medidas en muestras de calcedonia negra aurífera y en galena de filones pertenecientes a la paragénesis Pb-Zn-(Cu-Ag-Au) caen dentro del campo definido por las relaciones isotópicas correspondientes tanto a las rocas frescas como a las alteradas hidrotermalmente. Ello sugiere un origen ígneo para las mineralizaciones de Rodalquilar, pero no proporciona información sobre los procesos por los cuales el sistema hidrotermal adquirió el Pb, es decir, si la presencia de este elemento se debe a la lixiviación de las rocas de caja o a la existencia de un magma en proceso de cristalización. En cualquier caso, los datos isotópicos del Pb indican que este elemento no proviene de las rocas metasedimentarias que forman el basamento paleozoico del SE de España.

La única variación que presenta la mineralización oro-alunita de Rodalquilar con respecto a la composición isotópica del Pb presente en las rocas encajantes se refiere a la alunita de tipo 2, la cual tiene un componente de Pb más radiogénico, probablemente de origen cortical, que el de las rocas clásticas metamórficas (paleozoicas, pérmicas y triásicas) existentes en el SE de España. Por ello, la fuente más probable del Pb de la alunita supergénica serían las formaciones carbonatadas triásicas que afloran en Sierra Alhamilla, situada unos 10 km al Noreste de Rodalquilar, de donde procederían las aguas que dieron lugar a la oxidación de los sulfuros.

En cuanto a la composición de los isótopos de Sr, ella parece indicar que dicho elemento fue lixiviado por procesos hidrotermales a partir de las rocas que forman el interior de la caldera, incluyendo entre ellas las ignimbritas de los cerros del Cinto y las Lázaras, y los domos de riolitas. Esta interpretación viene apoyada por las relaciones Rb/Sr, las cuales indican que el Sr fue extraído de la parte más profunda del sistema hidrotermal, p.e. de la zona sericítica, y redepositado en zonas más superficiales, que es donde se encuentran la alteración arcílica avanzada y las mineralizaciones de oro con calcedonia.

Por otra parte, los datos de los isótopos de Sr excluyen la presencia de cantidades significativas de agua del mar en la formación de los fluidos hidrotermales, excepto en el caso de la alunita 2 y jarosita, cuya composición isotópica se aproxima algo a la del mar mioceno-plioceno. En este caso, una probable fuente local de Sr con las características isotópicas del mar Mioceno podrían ser las series de carbonatos marinos formados a poca profundidad y que se erosionaron precisamente durante el tiempo en que tuvo lugar la alteración supergénica. En cualquier caso, la falta de Sr en las rocas volcánicas precaldora demuestra que los sistemas hidrotermales se desarrollaron principalmente dentro de la propia caldera.

ORIGEN DE LA MINERALIZACION

Los datos geológicos y mineralógicos obtenidos sobre el terreno y en el laboratorio, y los análisis

geoquímicos realizados para determinar la abundancia y distribución de los elementos en trazas y las relaciones Rb-Sr en las rocas frescas y alteradas, junto con los estudios geofísicos, isotópicos y de inclusiones fluidas, han permitido reconstruir el sistema hidrotermal de Rodalquilar y establecer el origen de las mineralizaciones de Au-alunita (RYTUBA et al., 1990; ARRIBAS, Jr. et al., 1995).

La formación de estos yacimientos se puede dividir en tres etapas, las cuales se sucedieron a lo largo de 8 M.a. Estas etapas corresponden a la formación del complejo de calderas de Rodalquilar hace 11,2 Ma, al desarrollo del sistema hidrotermal que dio origen a la mineralización oro-alunita de alta sulfuración hace aproximadamente 10,4 Ma, y a la alteración supergénica sulfatada ácida que se produjo entre hace 4 y 3 Ma. El proceso hidrotermal consistió, a su vez, en una etapa inicial de intensa alteración sulfatada ácida y en otra, inmediatamente posterior, durante la cual se emplazó la principal mineralización aurífera. A continuación se resumen las principales características de estas cuatro etapas.

Evolución del complejo de calderas

La caldera de Rodalquilar se originó por la erupción de las ignimbritas riolíticas del Cinto hace unos 11 Ma., a lo que siguió el emplazamiento de los domos riolíticos anulares, la erupción de la ignimbrita de las Lázaras, y la formación de la caldera Lomilla. Entre las características del complejo de calderas que han contribuido a la formación de los yacimientos epitermales de oro, hay que destacar las siguientes (CUNNINGHAM et al., 1990): (a) predominio del magmatismo riolítico-dacítico y de las erupciones piroclásticas (b) abundancia de rocas permeables en zonas de fracturación asociadas con el repetido colapso y resurgencia de la caldera, y (c) emplazamiento tardío, con respecto a la evolución de la caldera, de las intrusiones andesíticas hornbléndicas.

Alteración hipogénica de las rocas encajantes

De acuerdo con los datos obtenidos hasta ahora, el principal proceso de alteración hipogénica estuvo dominado por fluidos de origen magmá-

tico. La típica secuencia de alta sulfuración (sericita > caolinita > alunita > sílice oquerosa) que se observa en Rodalquilar a medida que disminuye la profundidad se debe a la reacción de las rocas de caja con fluidos hidrotermales hipogénicos relativamente oxidantes y de acidez creciente. Por este motivo, y como consecuencia de la dismutación del SO_2 magmático que tiene lugar a $<400^\circ\text{C}$ para formar H_2SO_4 y H_2S , coexisten pirita y alunita dentro de la zona de alteración arcílica avanzada. Este tipo de alteración, extremadamente ácido, que condujo a la completa lixiviación de casi todos los componentes de las rocas, excepto el cuarzo, se debió a la acción de fluidos hidrotermales de $\text{pH} < 2$ y temperaturas probablemente $<250^\circ\text{C}$ que dieron lugar a la formación de cuerpos de sílice oquerosa alrededor de las fracturas y que, en superficie, estuvieron representados por fumarolas de alta temperatura y fuentes termales ácidas.

Mineralizaciones epitermales de oro

Los minerales auríferos se depositaron en Rodalquilar en la parte más superficial del núcleo central de actividad hidrotermal, al tiempo que tenía lugar la brechificación y el depósito de la sílice amorfa, negra y bandeada (cuarzo calcedonioso después de la recristalización), y pirita en fracturas y espacios abiertos de las rocas previamente alteradas. Las relaciones de campo y las texturas de los minerales bandeados, unido a las observaciones geológicas realizadas en la caldera Lomilla y al hecho de que se hayan conservado sedimentos lacustres en el foso de la caldera de Rodalquilar, indican que el emplazamiento de las mineralizaciones auríferas tuvo lugar en un ambiente próximo a la superficie, probablemente $<300\text{ m}$, y a temperaturas $<180^\circ\text{C}$. Sin embargo, el depósito de cuarzo amorfo indica que el sistema hidrotermal alcanzó un alto grado de sobresaturación en sílice, lo que requiere temperaturas en profundidad de, por lo menos, 280°C . Además, para poder contener las grandes cantidades de S que se requieren para transportar el Au y precipitar los sulfuros metálicos coexistentes, los fluidos originales tuvieron que estar sometidos a presiones superiores a la hidrostática y temperaturas de 350° a 400°C . Así, una vez que se sobrepasó la barrera de permeabilidad, probablemente por fracturación hidráu-

lica y subsecuente brechificación hidrotermal, el fluido expulsado se enfrió en parte por ebullición y en parte al entrar en contacto con rocas más frías. Entonces, con el descenso de temperatura y la pérdida de volátiles de la fase vapor, se desestabilizaron los complejos sulfurados que transportaban el Au y éste se depositó en un ambiente epitermal de alta sulfuración.

Alteración supergénica sulfatada ácida

Tuvo lugar esta etapa unos 7 M.a. después de formarse los yacimientos de alta sulfuración y cuando éstos quedaron expuestos a la intensa meteorización. Los cambios mineralógicos más importantes durante esta etapa se produjeron en la zona superficial de los yacimientos epitermales, siendo de destacar la formación de la alunita 2 por el interés que tiene este mineral para la exploración. Así, es de gran utilidad poder distinguir entre la alunita 2, que es generalmente estéril, y la alteración supergénica con ella asociada, y la alunita 1 (originada en un ambiente magmático hidrotermal, o en uno de aguas calentadas por vapor; RYE et al., 1992), que va asociada espacialmente con las mineralizaciones

hipogénicas. De esta forma será posible predecir cuales son las zonas que presentan mayor potencial para contener mineralizaciones epitermales de oro.

REFERENCIAS

ARRIBAS, A., JR.: (1993), Mapa geológico del distrito minero de Rodalquilar, Almería, escala 1:25.000: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid, Spain.

ARRIBAS, A., JR., CUNNINGHAM, C. G., RYTUBA, J. J., RYE, R. O., KELLY, W. C., PODWYSOCKI, M. H., MCKEE, E. H., Y TOSDAL, R. M.: (1995), Geology, Geochronology, Fluid Inclusions, and Isotope Geochemistry of the Rodalquilar Gold Alunite Deposit, Spain: Economic Geology, v. 90, p. 795-822.

CUNNINGHAM, C. G., ARRIBAS, A., JR., RYTUBA, J. J., Y ARRIBAS, A.: (1990), Mineralized and unmineralized calderas in Spain; Part I, evolution of the Los Frailes caldera: Mineralium Deposita, v. 25, (Supp), p. S21-S28.

RYE, R. O., BETHKE, P. M., Y WASERMAN, M. D.: (1992), The stable isotopic geochemistry of acid sulfate alteration: Economic Geology, v. 87, p. 225-262.

RYTUBA, J. J., ARRIBAS, A., JR., CUNNINGHAM, C. G., MCKEE, E. H., PODWYSOCKI, M. H., SMITH, J. G., KELLY, W. C., Y ARRIBAS, A.: (1990), Mineralized and unmineralized calderas in Spain; Part II, evolution of the Rodalquilar caldera complex and associated gold-alunite deposits: Mineralium Deposita, v. 25, (Supp), p. S29-S35.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

CLASIFICACION TEXTURAL
DEL CUARZO EPITERMAL (Au-Ag)
DE RELLENO FILONIANO DEL AREA VOLCANICA
DE CABO DE GATA, ALMERIA.

Por A. DEMOUSTIER (*)(**), R. CASTROVIEJO (*) y J. M. CHARLET (**)

R E S U M E N

El estudio de filones epitermales, particularmente del tipo *low-sulphidation* o adularia-sericita, pone de manifiesto la existencia, en el relleno hidrotermal, de frecuentes manifestaciones de cuarzo anómalo, por sus texturas y características petrográficas. La interpretación de estos tipos de cuarzo plantea problemas a la hora de establecer su origen y para cualquier estudio de inclusiones fluidas, al obligar a cuestionar el carácter primario de asociaciones de inclusiones que en otras condiciones sería indudable (por ejemplo, las asociadas a zonado de crecimiento).

El campo filoniano de Cabo de Gata (Almería) ofrece un amplio muestrario de este tipo de manifestaciones de cuarzo epitermal, el cual ha servido de base para proponer una clasificación de dichas texturas, como primer paso para abordar, con el rigor y precisión debidos, ulteriores estudios mineralógicos, geoquímicos y, en particular, microtermométricos por inclusiones fluidas. Se recogen de la literatura internacional y se aplican las ideas derivadas de otros campos similares y se propone una clasificación —Cuadros 1 y 2— que distingue las generaciones de cuarzo estrictamente primario (es decir, no transformadas por procesos ulteriores) y las modificadas, recrystalizadas, secundarias, etc... Todas ellas se documentan gráficamente. Las texturas recrystalizadas son particularmente engañosas, ya que pueden mostrar rasgos aparentemente primarios, como zonado de crecimiento, que inducen a error al interpretar las inclusiones correspondientes como primarias.

Dicha clasificación tiene por objeto no sólo el asegurar el rigor necesario para abordar la petrografía de inclusiones fluidas, sino también el apoyo a la exploración y a la caracterización tipológica de las concentraciones de metales preciosos. Se aportan criterios para facilitar la interpretación y reconocimiento de procesos epitermales en general y, particularmente, mediante la caracterización de las texturas de relleno en campo y laboratorio, para distinguir ambientes epitermales de otros (vbgr. metamórficos, mesotermales o ligados a zonas de cizalla), relevantes o no para la exploración.

Se ha hecho el esfuerzo de referir las texturas a términos castellanos, evitando la repetición “ad infinitum”, no siempre necesaria, de términos anglosajones. Lo que en algunos casos obliga a innovar, pero, para evitar toda confusión, se ha reducido al mínimo indispensable la terminología nueva. Para mayor precisión y para facilitar la comparación con otros trabajos, se propone —Cuadro 3— una tabla de equivalencias entre la terminología (española) empleada y definida en este trabajo y la más extendida en la literatura internacional (inglés, francés).

Palabras clave: Clasificación textural, Cuarzo de relleno, Filones epitermales, Oro, Plata, Petrografía, Inclusiones fluidas, Exploración, Cabo de Gata, Almería.

A B S T R A C T

The petrographic study of epithermal veins (especially from the low sulphidation type), shows the frequent occurrence of anomalous quartz in the hydrothermal infill. The interpretation of these anomalous quartz is a key to establish the origin, and for fluid inclusion studies, to ascertain their primary origin, even if it may look unquestionable (for instance, fluid inclusions related to growth zones).

The vein field of Cabo de Gata (Almería) has many showings with such textural characteristics, and was used as a test-site for their reconnaissance. The textural classification is an important first step to lead further studies (mineralogical, geochemical,

(*) ETSI Minas (UPM), c/ Ríos Rosas 21, 28003-Madrid.
(**) Faculté Polytechnique de Mons, Rue de Houdain 9, 7000-Mons (BELGICA).

and, above all, microthermometry of fluid inclusions) with the required rigour and precision. The textural terms used are referred to the international literature. Concepts established in other similar fields are applied, and a classification is proposed. It is summarized in Tables 1 and 2. Table 1 shows the different types of quartz related to gold ores in the Cabo de Gata vein field and their typology. The most important type is the vein infill quartz Qv. This is classified after its textures in Table 2. There are various sub-types: crystalline, Qvx (according to grain size: buck, medium, fine, micro- to kryptocrystalline); fibrous, Qvf; sub-crystalline or amorphous (opal), Qvo; pseudomorphous or secondary, replacing other minerals, Qvs. Other types of quartz are also proposed in Table 1 but are less important for this study. Table 2 summarizes the different generations of quartz, distinguishing (i) the strictly primary quartz (not transformed by further processes), which appears as crustiform, colloform, cockade, comb, cavity infill and massive textures, from (ii) the modified textures: residual, recrystallized (jigsaw, feathery, flamboyant, ghost-sphere), replacement (ghost crystals, lattice bladed, ghost-bladed, saccharoidal), deformation (spider veinlet; breccia: matrix- or clast-supported). All the textures are shown in photomicrographs. The recrystallized textures may be particularly misleading because they can show apparently primary characteristics (growth zones for instance) and produce errors in the interpretation of their fluid inclusions as primary.

This classification does not only aim at ensuring the necessary rigor to begin fluid inclusion studies. It also provides help for the exploration and typological characterization of precious metals concentrations. Criteria are given to make easier the interpretation and survey of epithermal processes in general; the characterization of infill quartz textures, in situ and laboratory, allows to distinguish epithermal from other environments (for instance, metamorphic, mesothermal or related to shear zones), of differing significance for exploration.

An effort was made to refer the textures to Spanish terms, even if it may imply the introduction of new words in some cases, but the new terminology has been reduced to the essential to avoid confusion. To give greater precision and to make easier the comparison with previous works, Table 3 gives the equivalences between the terminology established and used here (Spanish) and that used in the international literature (French and English).

Key words: Textural classification, Infill quartz, Epithermal veins, Gold, Silver, Fluid inclusions, Petrography, Exploration, Cabo de Gata, Almería.

INTRODUCCION

La petrografía de inclusiones fluidas sobre el cuarzo de relleno hidrotermal del campo filoniano epitermal de Cabo de Gata (Almería), puso de manifiesto la existencia de texturas anómalas cuya frecuencia obliga a tomarlas en consideración y cuya interpretación escapa a los criterios habitualmente empleados. En la literatura internacional se encuentran referencias tempranas (ADAMS, 1920) a las mismas, pero posteriormente se les ha prestado poca atención. Recientemente parece haberse renovado el interés por su estudio (vbgr. SANDER y BLACK, 1988; DONG *et al.*, 1995) y los resultados prácticos avallan este interés. No sólo proporcionan criterios indispensables para estudios geoquímicos y cristalográficos o para la interpretación petrográfica, sino también para la caracterización sobre el terreno de filones epitermales y de otros tipos, con vistas a la exploración minera. Todas estas razones han conducido al estudio sistemático, con estos criterios, del relleno epitermal en el campo filoniano citado. Posteriormente se espera aplicarlos a otras formaciones hidrotermales.

El presente estudio se apoya en trabajos previos de exploración y de cartografía, mineralógicos, etc. de este campo filoniano (*low sulphidation*), que constituye un metalotecto aurífero, ubicado en un campo de domos andesítico relacionado con el volcanismo terciario calco-alcalino del SE español (CASTROVIEJO, 1994). La Fig. 0 presenta sintéticamente la localización de los filones en las principales áreas de la zona de Cabo de Gata. Los criterios empleados combinan todas las escalas, desde el reconocimiento sobre el terreno y selección de muestras, pasando por su estudio "de visu" y con esteromicroscopio (muestras de mano o pulidas), hasta el estudio microscópico. El estudio se circunscribe al relleno filoniano y a las texturas correspondientes. Otros aspectos de indudable interés para exploración como el reconocimiento y caracterización a gran escala de los procesos explosivos o de fracturación, los debidos a sobrepresión de fluidos, fracturación hidráulica, brechas de erupción hidrotermal, etc., que por su naturaleza y escala desbordan el ámbito de este trabajo, son ahora abordados únicamente en los aspectos relevantes para el objetivo propuesto.

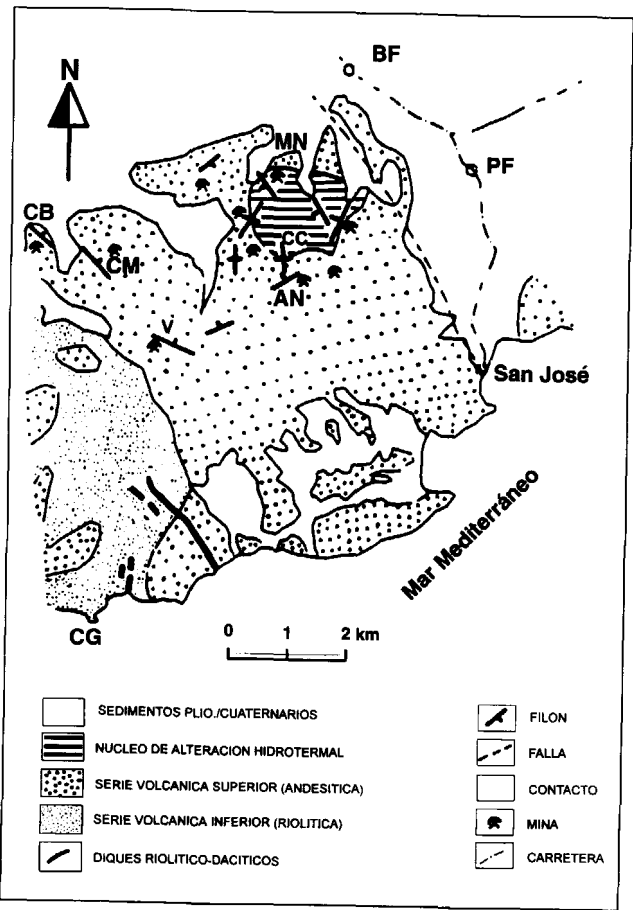


Fig.0.—Plano sintético del campo filoniano de Cabo de Gata con localización de las principales áreas. CG: Cabo de Gata; CB: Cerro Bóveda; CM: Cerro Martos; MN: Mina Navidad; CC: Cerro Carneros; AN: Alemanes Nuevos; V: Venancia; BF: Boca de los Frailes; PF: Pozo de los Frailes (modificado de CASTROVIEJO, 1994).

Debido a sus características morfológicas, estructura cristalina, composición y propiedades físico-químicas, el cuarzo refleja los diferentes factores que han condicionado el proceso hidrotermal, el desarrollo de los filones y la deposición de las mineralizaciones. Una descripción detallada de las texturas del cuarzo es en realidad, en el ambiente epitermal, más compleja de lo que parece, por su diversidad y peculiaridad. Para llevar a cabo un estudio de inclusiones fluidas, es imprescindible determinar con certeza el carácter primario o modificado de las texturas de cuarzo para poder afirmar que una inclusión es primaria o secundaria, ya que este criterio condiciona todas las interpretaciones ulteriores.

La presente publicación trata de describir de manera clara y reproducible las texturas de cuarzo, de clasificarlas y de posibilitar la aplicación de los resultados a otras formaciones hidrotermales. Se intentará, en una segunda fase, explicar los procesos de formación de los filones, interpretar el origen de las texturas, las condiciones reinantes en los fluidos, y ver si existen correlaciones entre los tipos de texturas y las mineralizaciones auríferas. Se aplica, para caracterizar las texturas, una clasificación previamente establecida (DEMOUSTIER, 1995; DEMOUSTIER y CASTROVIEJO, 1997), que considera el tipo de cuarzo y el tamaño de grano individual (Cuadro 1). De los varios tipos de cuarzo allí definidos, el más importante para este estudio es el **cuarzo de relleno de vetas (Qv)**, que puede ser:

-cristalino (Qvx) y, según el tamaño de grano, grueso (Qvxg: >10mm), medio (Qvxm: 1-10mm), fino (Qvxf: 0,1-1mm) o micro- a criptocrystalino (Qvxk: <0,1mm). En el caso de la textura en cresta, descrita en el texto y observable a escala macroscópica, se trata con frecuencia de cuarzo muy grueso y los cristales pueden alcanzar dimensiones del orden del cm a decenas de cm; **-fibroso (Qvf)**, generalmente tipo calcedonia; **-subcristalino o amorfo (Qvo)**, esencialmente ópalo;

CUARZO DE RELLENO DE VETA Qv	Cristalino Qvx	grueso Qvxg (>10 mm)
		medio Qvxm (1-10 mm)
		fino Qvxf (0,1-1 mm)
		micro- a criptocrystalino Qvxk (<0,1 mm)
	Fibroso Qvf	
CUARZO RELACIONADO CON EL ENCAJANTE Qe	Subcristalino o amorfo Qvo (ópalo)	
	Seudomórfico o de sustitución de otros minerales Qvs	
	Cuarzo de reemplazamiento masivo QeM (metasomatismo o silicificación)	
CUARZO PRIMARIO EN CLASTOS Qc	Cuarzo de tapizado de poros Qep	
	Descripción según cristalinidad, textura, etc...	

Cuadro 1.—Tipología del cuarzo relacionado con las mineralizaciones auríferas en el campo filoniano de Cabo de Gata. El tipo principal, el cuarzo de relleno de veta Qv, es objeto de clasificación textural en el Cuadro 2 (modificado de DEMOUSTIER, 1995).

-**seudomórfico o de sustitución Qvs**, por reemplazamiento de otros minerales.

Se han definido **otros tipos de cuarzo**, no objeto directo de este estudio:

-los cuarzos **relacionados con el encajante (Qe)**, que son el cuarzo de reemplazamiento masivo del encajante (**QeM**) (se trata entonces de metasomatismo o silicificación) y el cuarzo de tapizado de poros (**Qep**);

-el cuarzo primario, más antiguo, en clastos (**Qc**), en el encajante o en filones posteriores de cuarzo.

Descripción de las texturas

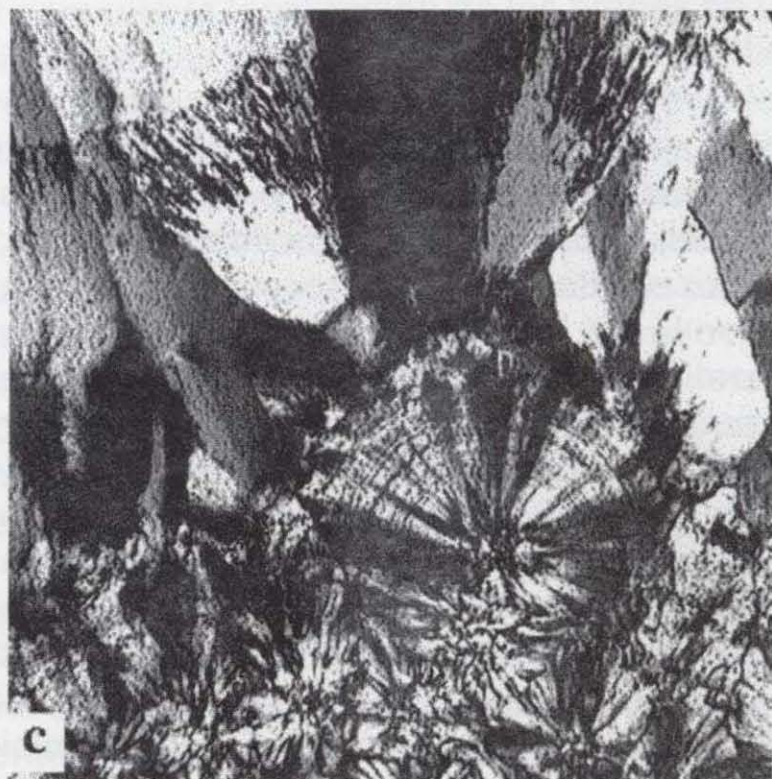
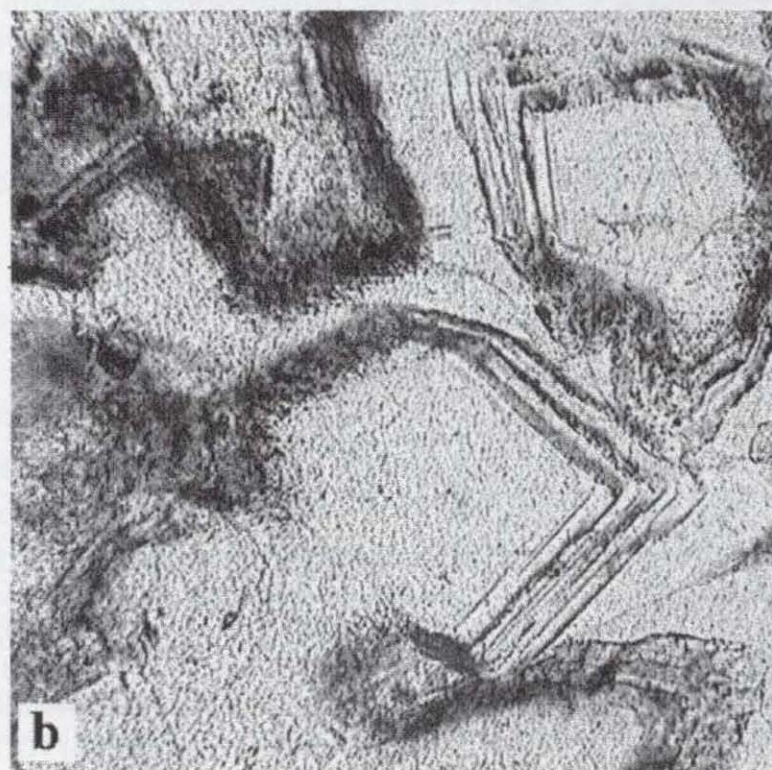
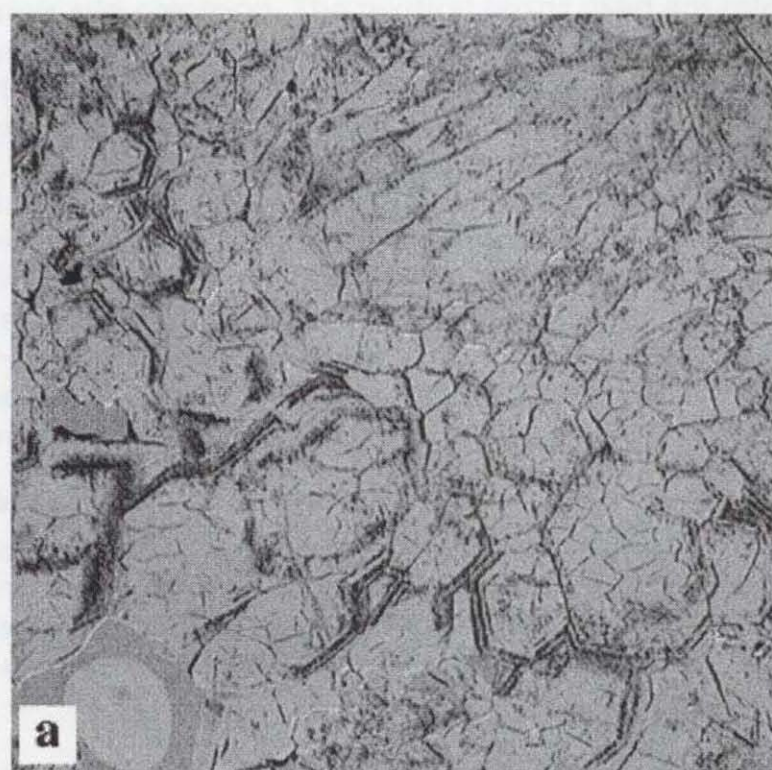
La clasificación de las texturas se ha establecido con referencia a la literatura disponible y a la observación de abundantes muestras procedentes de diferentes áreas de la zona de Cabo de Gata, provincia de Almería. Los términos utilizados en esta clasificación adoptan la terminología establecida a nivel internacional, con las modificaciones necesarias: ADAMS (1920), SANDER y BLACK (1988), VEARNCOMBE (1988), DOWLING y MORRISON (1990), DONG *et al.* (1995), etc...

Los criterios utilizados para establecer la clasificación textural son esencialmente morfológicos. Se puede efectuar una subclasificación considerando la estructura interna de los cristales. Las estructuras internas más frecuentes son:

-la estructura zonada: se manifiesta esencialmente de dos maneras:

a) por alternancia de zonas límpidas y turbias, cuajadas de inclusiones sólidas o fluidas. Puede

Fig.1.—Estructuras internas más frecuentes. **a**: Estructura zonada que se caracteriza por alternancia, dentro de los cristales de cuarzo, de zonas límpidas y turbias, cuajadas de inclusiones. Mina Venancia. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x0,63), NX. Escala: base de imagen: 6,86 mm. **b**: Estructura zonada caracterizada por diferencia de índice de refracción entre las distintas zonas de crecimiento del cristal. Mina Santa Bárbara. Fotomicrografía (obj. x10), N//. Escala: base imagen: 430 μ m. **c**: Estructura fibroso-radiada caracterizada por sus contornos externos esféricos y por la disposición radial de las fibras microscópicas que originan extinciones en cruz. Mina Santa Bárbara. Fotomicrografía (obj. x4), NX. Escala: base de imagen: 1,075 mm.



reflejar las distintas etapas de cristalización. Las zonas finas reflejan cambios bruscos en los fluidos, mientras que las anchas y mal delimitadas traducen cambios progresivos (Fig.1a).

b) por diferencias de índice de refracción, que delimitan las distintas zonas de crecimiento dentro del cristal (ADAMS, 1920) (Fig.1b). Estas zonas podrían ser de calcedonia o de calcedonia sub-microscópica que se depositó sobre el cuarzo primitivo, en continuidad cristalográfica con él;

-la estructura fibroso-radiada caracterizada por fibras microscópicas formando grupos con forma externa esférica y extinciones en cruz (Fig.1c). Resulta de desvitrificación o de recristalización de un gel.

Todas las texturas aquí descritas entran en uno u otro de los dos grandes grupos siguientes:

1) las texturas primarias, que reflejan la geometría inicial, en las condiciones de formación de la paragénesis observada;

2) las texturas que resultan de las modificaciones sufridas por las texturas primarias. Son esencialmente fenómenos de recristalización o de reemplazamiento. En este apartado se agrupan también las texturas causadas por fenómenos de deformación posteriores a la formación del filón.

Generalmente, dentro de un mismo filón, coexisten varios tipos de texturas. El Cuadro 2 presenta sinópticamente los tipos de texturas encontrados en los filones epitermales de Cabo de Gata.

I. Texturas primarias (P)

Las texturas primarias originales, descritas a continuación, no siempre se observan intactas. En la mayoría de los casos, las texturas primarias están recristalizadas en mayor o menor medida y pueden sufrir muchas modificaciones. De manera general, se distinguen las texturas primarias siguientes:

P.1. Textura crustiforme

Descrita por ADAMS (1920) como *crustification banding*, es un caso particular de textura bandeada, término que, en sí, puede aplicarse tam-

bién a otros ambientes (mesotermal, sedimentario,...). Las Fig. 2a y 2b presentan texturas crustiformes e ilustran además las texturas coloforme y en abanico definidas más adelante.

También denominada textura en hojaldre o *layer cake*, esta textura se caracteriza por una alternancia de bandas estrechas y subparalelas entre sí y a los hastiales, cada una con textura, composición y/o color propios (Fig. 2c). Las bandas se suelen desarrollar simétricamente a partir de los hastiales, pero no siempre ocurre así. Según la textura interna de cada banda, pueden admitirse varias subdivisiones dentro de la textura crustiforme. Por ejemplo opalina, coloforme (P.2), en cresta (P.4), ...

La textura crustiforme puede ser transicional, por aumento de la cristalinidad, a la textura en escarapela, P.3.

P.2. Textura coloforme

P.2.a. Textura coloforme s.s

Término propuesto por primera vez por ROGERS (1917, in DONG *et al.*, 1995), se denomina también colomorfa. La textura coloforme s.s. se caracteriza por bandas de granulometría muy fina cuyos contornos presentan una forma esférica, botrioidal, arriñonada o mamelar, o una combinación de estas formas (Fig. 2c; en parte, también Figs. 2a, 2b y 5b). Esta textura suele componerse de QvXk tipo calcedonia organizado en bandas finas y con hábito fibroso (QvF) (Fig. 2c). Está desarrollada típicamente por los coloides artificiales y materiales naturales supuestamente de origen coloidal, cuando se depositan en espacio libre. No se debe confundir las texturas coloformes esferoidales (cuando los botrioides se acercan a la esfericidad por fenómenos de tensión superficial) verdaderas con otros depósitos concéntricos que se desarrollan sobre clastos (textura en escarapela, cf. P.3)

Dentro de la textura coloforme, se pueden distinguir dos casos particulares que se diferencian por su estructura interna:

P.2.b. Textura en moho

Inicialmente definida por ADAMS (1920) como "textura de gel micro-botrioidal", es la textura

TEXTURAS	TIPOS PRINCIPALES	SUBDIVISIONES		MORFOLOGÍA / ESTRUCTURA	EJEMPLOS
P R I M A R I A S D E R E L L E N O (P)	Crustiforme (P.1)	s.s: según forma y cristalinidad		variable en cada banda	Fig. 2a, 2b, 2c
		transicional a escarpela		concéntrica	Fig. 2a
	Coloforme (P.2)	s.s (P.2.a)		botrioidal, amñonada, etc...	Fig. 2a, 2b, 2c, 5b
		en moho (P.2.b)		esferoidal, sin estructura interna	Fig. 2d
		esferulítica (P.2.c)		fibroso-radiada	Fig. 2e, 1c
	En escarpela (P.3)	según cristalinidad		concéntrica	Fig. 2f
	En cresta (P.4)	s.s (P.4.a)		zonada	Fig. 3a
		en roseta (P.4.b)		concéntrica	Fig. 3b
		en abanico (P.4.c)		radial	Fig.3c, 2b
	Cavidades póstumas (P.5)	coloforme, concéntrico, cristalino, etc...		variada	Fig. 3d
Masiva (P.6)	según cristalinidad, microcristalina (P.6.a), subcristalina, gruesa (P.6.b),...		variable: zonada, etc...	Fig. 1a, 3e	
M O D I F I C A D A S (M)	Residuales (M.1)	asociaciones cristalinas		variable	Fig. 4a
	Recristalización (M.2)	en rompecabezas (M.2.a)		irregular, indentada	Fig. 4b
		plumosa (M.2.b)	de borde	astillosa, discontinua	Fig. 4c
			interna	astillosa, discontinua	Fig. 4d, 4e
		flameante (M.2.c)	sobre cristales: de borde o interna	fibrosa o fibroso-radiada	Fig. 4f
			sobre fisuras: de relleno	fibrosa o fibroso-radiada	Fig. 4g
		en esfera fantasma (M.2.d)		concéntrica relicta	Fig. 4h
	Reemplazamiento (M.3)	fantasmas cristalinos (M.3.a)		seudomorfa recristalizada	Fig. 5a
		laminar en trama (M.3.b)		reticular pseudomorfa	Fig. 5b
		laminar fantasma (M.3.c)		hojosa o tabular pseudomorfa	Fig. 5c
		sacarolide (M.3.d)		microcristalina, seudoreticular	Fig. 6a
	Deformación (M.4)	en telaraña o red de fisuras (M.4.a)		matia microcristalina	Fig. 6b
brecholde (M.4.b)		matriz-soportada	clastos sobre matriz	Fig. 6c	
		clasto-soportada	clastos cementados	Fig. 6d	

Cuadro 2. Cuadro sinóptico textural del cuarzo de relleno hidrotermal (Qv), en los filones epitermales de Cabo de Gata. Existen dos grandes tipos de texturas: las texturas primarias, que reflejan la geometría inicial y las texturas modificadas, que resultan de transformaciones sufridas por aquéllas. Son esencialmente fenómenos de recristalización o reemplazamiento pseudomórfico por Qvs. En esta categoría se agrupan también las texturas causadas por fenómenos de deformación posteriores a la formación del filón.

moss descrita por DONG *et al.* (1995). En las muestras de mano, se reconoce por el aspecto turbio y heterogéneo, parecido al del moho (contornos redondeados). En lámina transparente (Fig. 2d, N//), se observan agregados de globulillos diminutos, subrayados por bandas concéntricas cuajadas de impurezas y/o inclusiones y de diferentes composiciones y/o color. Cuando los globulillos entran en contacto uno con otro, la textura en moho evoluciona hacia una textura coloforme s.s. Desde el punto de vista de la estructura interna, los globulillos que constituyen la textura en moho no presentan carácter fibroso-radiado y entre nicoles cruzados, la extinción es uniforme o irregular (Fig.2d, NX).

P.2.c. Textura esferulítica
Consiste en asociaciones de esferulitos subrayados por bandas concéntricas cuajadas de impurezas y/o inclusiones y de diferentes composiciones y/o color (Fig. 2e). A veces los esferulitos de QvF crecen a partir de un núcleo de otro mineral preexistente. La textura esferulítica se parece mucho a la textura en moho pero se diferencia de ella por su estructura interna fibroso-radiada y su extinción en cruz (Fig.1c).

P.3. Textura en escarpela

También denominada *cockade texture*, es una de las más típicas texturas de relleno hidrotermal y suele estar asociada a brechas. Consiste en fragmentos de roca (encajante o relleno hidrotermal más antiguo) de origen clástico alrededor de los cuales crecen varias bandas concéntricas de cuarzo cristalizado de diferentes texturas (Fig. 2f). En algunas ocasiones, los clastos originales han sido lixiviados y sólo quedan cavidades vacías.

P.4. Textura en cresta

P.4.a. Textura en cresta s.s
La textura en cresta, muy frecuente y muy descrita en la literatura, destaca no sólo a escala microscópica, sino también a simple vista. Se caracteriza por grupos de cristales de cuarzo de hábito prismático paralelos o subparalelos entre sí y que generalmente crecen en espacio libre, a partir de los hastiales, en geodas o en drusas, lo que les permite desarrollar al final caras romboédricas y presentar un aspecto en cresta de gallo,

cockscornb o *rooster's cornb* en la terminología anglosajona (Fig. 3a). Los cristales de cuarzo tienen un tamaño uniforme, terminaciones euhédricas y suelen tener una estructura interna zonada. Episodios posteriores de circulación de fluidos provocan el relleno de los espacios todavía vacíos. Cuando dominan las caras prismáticas, sin espacio libre para el desarrollo del romboedro, se justifica la designación de textura "en empalizada" o "en peine", también frecuente. Los prismas de cuarzo se orientan perpendicularmente a los hastiales. Su base es estrecha y se ensanchan a medida que van creciendo, al desaparecer, por competencia entre cristales vecinos, los peor situados.

Hay casos particulares de la textura en cresta. Cabe distinguir:

P.4.b. Textura en roseta
Se observa principalmente a escala microscópica. Se caracteriza por un crecimiento radial de Qvxm-g euhédrico simétrico alrededor de un único núcleo constituido por gérmenes de cristalización (Fig. 3b), lo que la diferencia de la textura en escarpela, que resulta del crecimiento de bandas de diferentes generaciones de cuarzo alrededor de un clasto de cuarzo anterior o del encajante.

P.4.c. Textura en abanico
Los grupos constituidos por varios cristales subhédricos a euhédricos de cuarzo tienen forma de abanico. Cada cristal crece radialmente a partir de un núcleo de Qvxx e interfiere con los vecinos (Figs. 3c, escala microscópica y 2b, escala macroscópica). La extinción global del conjunto es ondulante, pero uniforme dentro de cada cristal individual. Esta textura, definida por ADAMS como *spheroidal crystallization* (1920), no debe confundirse con la textura flameante resultante de la recristalización de un gel (cf. M.2.c).

P.5. Cavidades póstumas

Se trata de espacios vacíos (geodas, poros, huecos,...) que sobreviven a la fase principal de relleno filoniano, por agotamiento de éste. Episodios póstumos de circulación de fluidos provocan el relleno parcial (tapizado) o completo (colmatación) de estas cavidades (Fig. 3d, NX). Son de tamaño variable y subrayadas por impurezas y/o inclusiones (Fig. 3d, N//). A veces, los

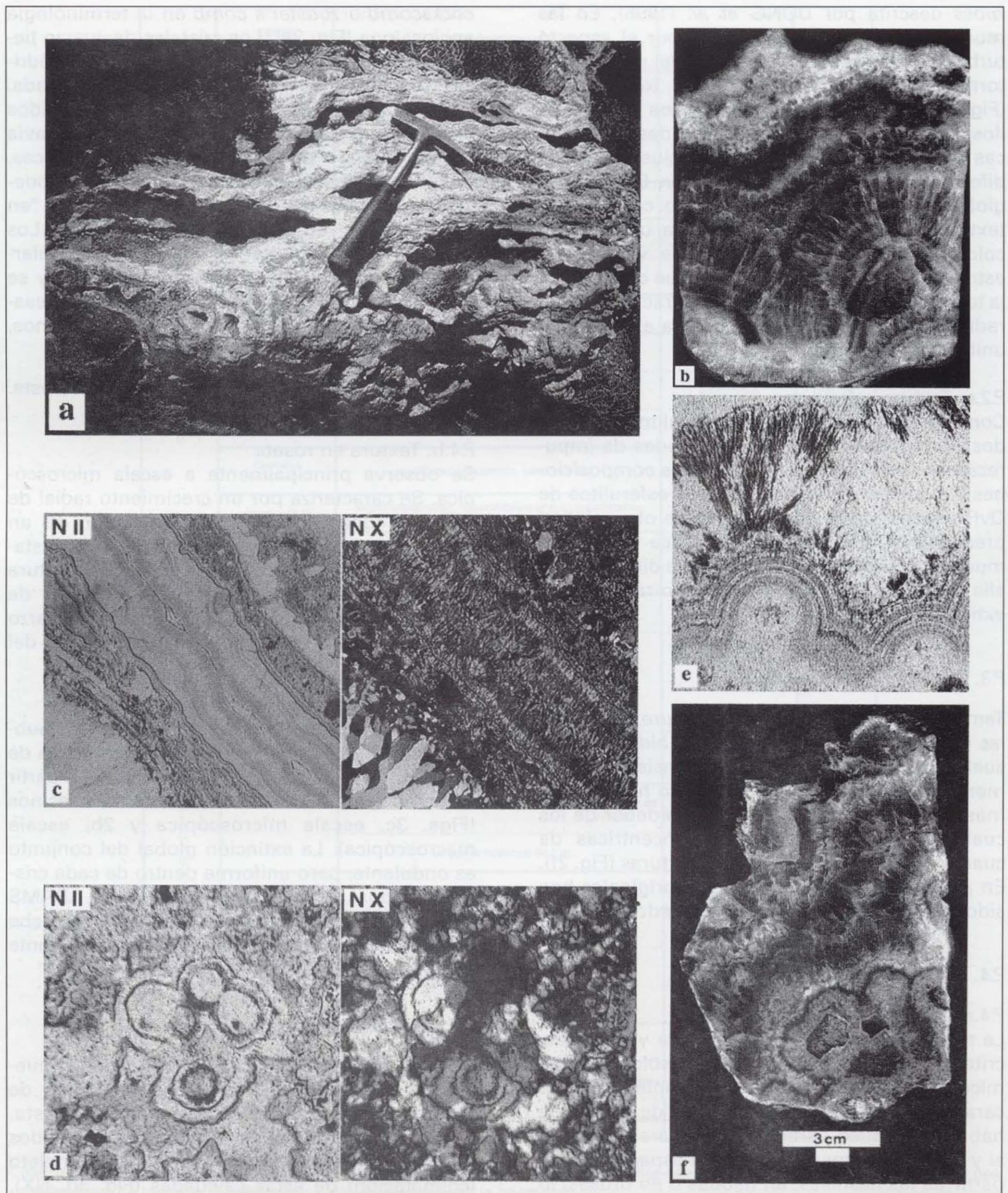


FIGURA 2

cuarzos de tapizado presentan indicios de recrystalización, principalmente textura plumosa (cf. M.2.b).

P.6. Textura masiva

La textura masiva se observa en los filones bajo aspectos diversos: cuarzo blanco, lechoso (muchas inclusiones gaseosas) o de aspecto hialino, amatista,... La apariencia general de los filones es homogénea, uniforme, densa y masiva. La textura masiva se subdivide, según el tamaño de grano, en:

P.6.a. Textura masiva microcristalina

Se compone exclusivamente de cuarzo microcristalino, cuyos granos presentan terminaciones euhédricas (Fig. 1a).

P.6.b. Textura masiva gruesa

Denominada textura *buck* o *bull* por DOWLING y MORRISON (1990), se compone de cristales de Qv_{xm}-g, anhédricos a euhédricos cuya estructura interna puede ser zonada (Fig. 3e). No hay direcciones privilegiadas de crecimiento o, si las hay, son poco marcadas. Los cristales no suelen estar recrystalizados y no suele haber otro componente de ganga.

II. Texturas modificadas (M)

M.1. Texturas residuales

Se caracterizan esencialmente por asociaciones residuales, formadas por relictos de cristales de

cuarzo anhédricos, subhédricos o euhédricos, agrupados en archipiélagos e incluidos en una masa de cuarzo recrystalizado. Los bordes son subrayados por impurezas y/o inclusiones (Fig. 4a), o destacan por contraste de índices de refracción.

M.2. Texturas de recrystalización

Aparte los clásicos puntos triples, la recrystalización se manifiesta también de otras formas:

M.2.a. Textura en rompecabezas

Esta textura, también llamada *jigsaw-quartz* (LOVERING, 1972, in DONG *et al.*, 1995) o textura en *puzzle*, se caracteriza por cristales de Qv_x microcristalino, cuyos contornos son muy irregulares e imbricados (Fig. 4b). A veces, están cuajados de impurezas y/o inclusiones, lo que da a la muestra de mano, densa y compacta, un aspecto turbio. Se evita el término "mosaico", que podría inducir a error por ser habitual en otro contexto (por ejemplo, la textura granoblástica).

M.2.b. Textura plumosa

También llamada *feathery* (ADAMS, 1920 y DONG *et al.*, 1995); el término *plumose* de SANDER y BLACK (1988) agrupa esta textura junto con la flameante. Está constituida por cristales de cuarzo que presentan individualmente, en sus bordes o en su estructura interna, un aspecto plumoso; éste es debido a la yuxtaposición de microzonas, a modo de astillas o esquirlas, integradas por cristallitos de cuarzo modificados por recrystaliza-

Fig. 2. Texturas primarias I. a: Textura crustiforme, con tendencia coloforme, vista a escala megascópica. Obsérvese el zonado constituido por alternancia de bandas de crecimiento estrechas y subparalelas entre sí, lo que da a la textura el nombre hojaldre o *layer cake*. Las bandas corresponden a sucesivas etapas de apertura del filón y contienen varios tipos de cuarzo con texturas y colores variables. Mina Santa Bárbara W. b: Textura crustiforme, a escala macroscópica, con bandas de texturas variables: coloforme, en cresta, en abanico. Mina Santa Bárbara. Tamaño de muestra: 5,4 x 6 cm. c: Ejemplo de textura crustiforme con tendencia coloforme a escala microscópica. Se observan muy bien las bandas de distintas texturas de cuarzo que se desarrollan simétricamente y que son, del centro hacia los hastiales: variedad fibrosa tipo calcedonia recrystalizada a textura flameante, calcedonia primaria, encajante silicificado y zona de cuarzo Qv_xf con textura en cresta. Mina Santa Bárbara NE. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x0,63), N// y NX. Escala: base de imagen: 6,86 mm. d: Caso particular de la textura coloforme. Izquierda: Textura en moho, caracterizada por agregados de globulillos de diámetro comprendido entre 50 y 70 µm y subrayados por bandas concéntricas cuajadas de impurezas y/o inclusiones de diferentes composiciones (N//). Derecha: la misma imagen con NX para observar la estructura interna; los globulillos no presentan carácter fibroso-radiado y la extinción es uniforme. Barranco de las Niñas (Rodalquilar). Fotomicrografía (obj. x10). Escala: base de imagen: 430 µm. e: Caso particular de la textura coloforme. Textura esferulítica caracterizada por asociaciones de esferulitos subrayados por bandas concéntricas de impurezas y/o inclusiones y de diferentes composiciones. Mina Santa Bárbara. Fotomicrografía (obj. x4), N//. Escala: base de imagen: 1,075 mm. f: Textura en escarpela sobre clastos de encajante que, en este caso, han sido lixiviados y dejan huellas rellenadas por minerales arcillosos. Alrededor de estos clastos o huellas de clastos crecen varias bandas concéntricas de cuarzo amatista, de diferentes texturas, como por ejemplo en cresta. Socavón Remedios.

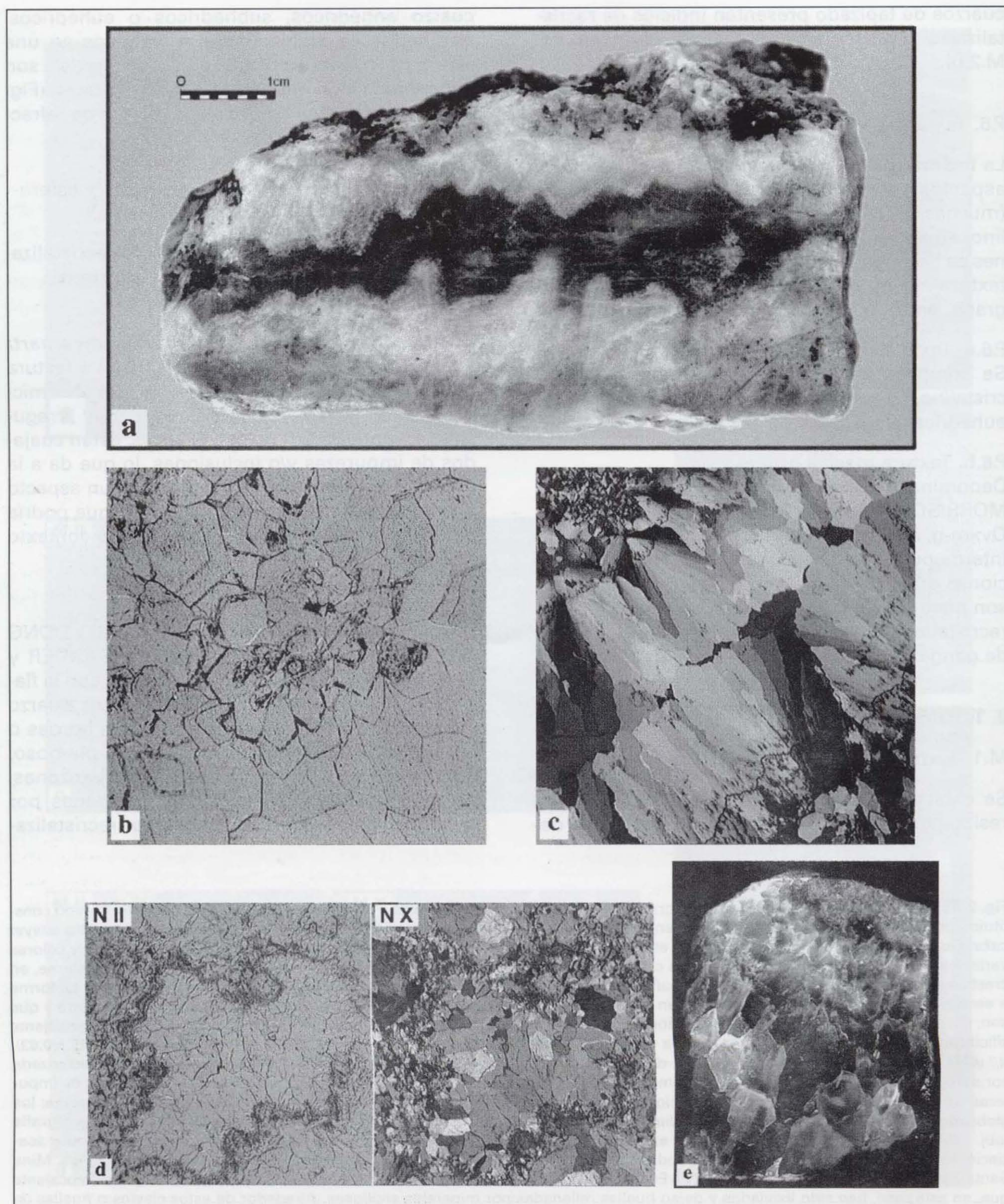


FIGURA 3

ción. Estos cristallitos se distinguen bastante bien entre nicols cruzados, al girar la platina, aunque hay poca diferencia de orientación cristalográfica entre ellos y el cuarzo huésped (Fig. 4c). La textura plumosa se desarrolla en los bordes, alrededor de cristales de cuarzo límpido, que constituyen núcleos primitivos sub- a euhédricos (textura plumosa de borde) (Fig. 4c), o aparece en enclaves dentro de los cristales (textura plumosa interna) (Fig. 4d). La textura plumosa interna se puede manifestar también en agrupamiento de cristallitos en forma de cruz de 6 lados (*six-sided cross*, ADAMS, 1920), generalmente de manera asimétrica. Excepcionalmente, el desarrollo de los sectores se produce de manera simétrica (Fig. 4e).

M.2.c. Textura flameante

Se caracteriza por la aparición de agregados de cristallitos de cuarzo alrededor de los cristales primarios, originando contornos externos curvos (recristalización de calcedonia) (Fig. 4f) o puntos triples; los granos de cuarzo recristalizados se caracterizan individualmente por una extinción radial flameante. Es la *flamboyant texture* definida por ADAMS (1920). La característica principal de la textura flameante es que tiene una apariencia óptica radial que se podría explicar por la presencia de fibras radiales submicroscópicas. Al microscopio, con nicols paralelos, éstas pueden distinguirse por su relieve, que contrasta con el del cuarzo huésped. Con nicols cruzados, en secciones paralelas al eje c, las extinciones son subparalelas a estas fibras. Son entonces radiales y ondulantes y se suelen diferenciar bien de las del cuarzo huésped. En secciones basales, se distinguen pequeñas zonas con ligeras diferencias en la posición de extinción con respecto al

cuarzo huésped. Tal como la textura plumosa, la textura flameante puede ser de borde (Fig. 4f) o interna. También puede tapizar microfisuras (Fig. 4g), lo que hace posible la asociación, o incluso transición gradual, a la textura en abanico (P.4.c).

M.2.d. Textura en esfera fantasma

También llamada *ghost-sphere*, se puede considerar, por su apariencia y sus formas esferoidales y mamelares, como un caso particular de la textura coloforme, pero en *estado fantasma*, es decir completamente enmascarada por la recristalización (Fig. 4h). Su morfología queda subrayada por impurezas y/o inclusiones.

M.3. Texturas de reemplazamiento

M.3.a. Fantasmas cristalinis

Corresponden a cristales de calcita, barita,... que mantienen sus morfologías propias y que han sido reemplazados por Qvs. Las formas son variadas (Fig. 5a, N//): prismáticas, romboidales, tabulares,... En muchos casos, los cristales son subrayados por inclusiones y/o impurezas. La recristalización invadió todo posteriormente (Fig. 5a, NX).

M.3.b. Textura laminar en trama

Consiste en un retículo tridimensional de cuarzo, en agregados pseudomorfos según primitivas láminas de calcita o barita entrecruzadas, reemplazadas por sílice y que dejan entre sí cavidades polihédricas vacías o parcialmente rellenas. Corresponde a la textura *lattice bladed* definida por DONG *et al.* (1995). Pertenece a la categoría más general de *pseudobladed texture*. El proceso de reemplazamiento difiere para calcita y barita.

Fig. 3. Texturas primarias II. Textura en cresta. a: Textura en cresta s.s., que se caracteriza por grupos de cristales de cuarzo de hábito prismático paralelos o subparalelos entre sí y que crecen sobre los hastiales. Las caras romboédricas de los cristales de cuarzo están bien desarrolladas, lo que le da el típico aspecto de cresta de gallo. El relleno filoniano se termina por una fase amatista (en el centro, gris en la imagen). Cerro Bóveda. b: Caso particular de la textura en cresta: Textura en roseta. Los cristales de cuarzo Qvxf euhédricos crecen radialmente alrededor de un núcleo constituido por gérmenes de cristalización. Mina Carneros Sur. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x1,6), N//. Escala: base de imagen: 2,72 mm. c: Caso particular de la textura en cresta. Textura en abanico. Consiste en grupos constituidos por varios cristales subhédricos que tienen forma de abanico. Cada cristal crece radialmente a partir de un núcleo de Qvxf e interfiere con los cristales vecinos. La extinción del conjunto es ondulante, pero uniforme dentro de cada cristal individual. Mina Santa Bárbara. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x0,63), NX. Escala: base de imagen: 6,86 mm. d: Cavidad póstuma. Izquierda: con N//, se observa una geoda que sobrevivió a la fase principal de relleno filoniano y cuyos contornos son subrayados por impurezas y/o inclusiones. Derecha: episodios póstumos de circulación de fluidos provocaron su relleno casi completo por Qvxf, como se observa en NX. Mina Navidad. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x0,63). Escala: base de imagen: 6,86 mm. e: Textura masiva gruesa en amatista. Los cristales de cuarzo Qvxm son anhédricos, algunos de ellos ligeramente subhédricos y la dirección de crecimiento se insinúa levemente. Socavón Remedios. Tamaño muestra: 2,2 x 2,4 cm.



FIGURA 4

Los cristales de barita se disuelven y dejan mol-des luego rellenos por cuarzo, mientras los cris-tales de calcita son reemplazados por Qvs según planos paralelos al pinacoide, creciendo los cris-tales de Qvs perpendicularmente a estos planos. El reemplazamiento sigue hasta que las cavida-des que quedan entre las láminas entrecruzadas se rellenan de Qvx, muchas veces en cresta (Fig. 5b). A diferencia de la matriz (primaria) en la tex-tura laminar fantasma (M.3.c), este cuarzo inters-ticial entre las láminas reemplazadas es tardío.

M.3.c. Textura laminar fantasma

Compuesta por fantasmas de calcita o barita incluidos en una masa de cuarzo cristalino. Pertenecce también a la categoría *pseudobladed texture* (DONG *et al.*, 1995). Esta textura resulta de un reemplazamiento por Qvs respetando la morfología inicial (reemplazamiento pseudomór-fico), tabular en el caso de la barita, laminar (paralelo al pinacoide) si se trata de calcita (*bla-ded calcite* o calcita hojosa, muy frecuente en los contextos epitermales). El Qvs empieza a crecer sobre cristales de cuarzo existentes del entorno, con la misma orientación cristalográfica. Después del reemplazamiento, los cristales origi-nales de barita o calcita sólo se perciben por la concentración de impurezas (probablemente óxi-dos e hidróxidos de hierro) insolubles, que deli-nean sus primitivos contornos, lo que facilita el reconocimiento de esta textura en láminas trans-

parentes (sobre todo en el caso de la calcita) (Fig. 5c, N//); las diferencias de tamaño de grano y morfológicas entre los cristales de Qvs (secunda-rios de calcita o barita) y la matriz primaria inters-ticial son un criterio complementario (Fig. 5c, NX).

M.3.d. Textura sacaroide

En muestra de mano, esta textura se reconoce por su aspecto homogéneo, de grano muy fino, con aspecto hialino grisáceo o lechoso que da a la muestra una apariencia de azucarillo (Fig. 6a, arriba). En lámina transparente, se observan cris-tales de cuarzo subhédricos, elongados, a veces intercrecidos (Fig. 6a, abajo) que se distribuyen al azar dentro de una matriz de Qv criptocristalino anhédrico, aunque a veces tienden a orientarse según direcciones preferentes entrecruzadas, a modo de malla o retículo. Se observa el típico efecto sal y pimienta. Esta textura, definida por DONG *et al.* (1995), corresponde a la *retiform structure* descrita por LINDGREN (1901, in DONG *et al.*, 1995) y ADAMS (1920), y a la *reticulated texture* descrita por LOVERING (1972, in DONG *et al.*, 1995).

M.4. Texturas de deformación

M.4.a. Textura en telaraña (debida a fracturación)
Definida por DOWLING y MORRISON (1990)

Fig. 4. Texturas modificadas I. a: Texturas residuales, formadas por cristales relictos de cuarzo, anhédricos a euhédricos, agrupados en archipiélagos. La ampliación, con N// (arriba), muestra cristales subhédricos, algunos de ellos con terminación euhédrica. Con NX (abajo), se ve que la masa de cuarzo en la cual están incluidos estos archipiélagos está recrystalizada. Mina Carneros Sur. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x1), N//. Escala: base de imagen: 4,25 mm. Ampliación: fotomicrografía (obj. x5), N// y NX. Escala: base de imagen: 0,86 mm. b: Recrystalización: textura en rompecabezas que se caracteriza por cristales de cuarzo microcristalino, cuyos contornos son muy irregulares e imbricados, lo que da al conjunto una apariencia de puzzle. Mina Santa Bárbara NE. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x1), NX. Escala: base de imagen: 4,25 mm. c: Recrystalización. Dos ejemplos de textura plumosa de borde, caracterizada por cristallitos de cuarzo en forma de astillas o esquirlas, modificadas por recrystalización. Estos cristallitos crecen alrededor de núcleos de cuarzo primitivo subhédrico (izquierda) o euhédrico (derecha) y límpido. Hay poca dife-rencia óptica entre los cristallitos y el cuarzo huésped. Mina Santa Bárbara. Fotomicrografías (obj. x4), NX. Escala: base de imagen: 1,075 mm. d: Recrystalización. Caso particular de textura plumosa: Interna. Los cristallitos de cuarzo se encuentran en enclaves dentro de los cristales. Cerro Bóveda. Fotomicrografía (obj. x4), NX. Escala: base de imagen: 1,075 mm. e: Textura plumosa interna que se manifiesta en agrupamiento, en este caso más o menos simétrico, de cristallitos en forma de cruz de 6 lados. Mina Carneros Sur. Fotomicrografía (obj. x4), NX. Escala: base de imagen: 1,075 mm. f: Recrystalización. Textura flameante de borde se desarrolla alre-dedor de un núcleo de cuarzo primitivo subhédrico y límpido, dándole unos contornos externos curvos. La extinción es radial y ondulante. En el ejemplo, las diferencias en la posición de extinción con respecto al cuarzo huésped no son muy notables, ya que se trata de una sección basal. Cerro Bóveda. Fotomicrografía (obj. x4), NX. Escala: base de imagen: 1,075 mm. g: Recrystalización. Textura flameante de relleno (microfisura), por recrystalización de calcedonia. En la figura se observa, de la derecha hacia el centro, la evolución de la recrystalización: variedad fibrosa de cuarzo, recrystalizada a textura flameante con su extinción ondulante y la última fase de relleno filoniano no afectada por la recrystalización. Mina Santa Bárbara NE. Fotomicrografía (obj. x4), NX. Escala: base de imagen: 1,075 mm. h: Recrystalización. Textura en esfera fantasma, caracterizada por formas esferoidales y mamelares subrayadas por impurezas y/o inclusiones, en un estado fantasma. Cerro Bóveda. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x1,6), N//. Escala: base de imagen: 2,72 mm.

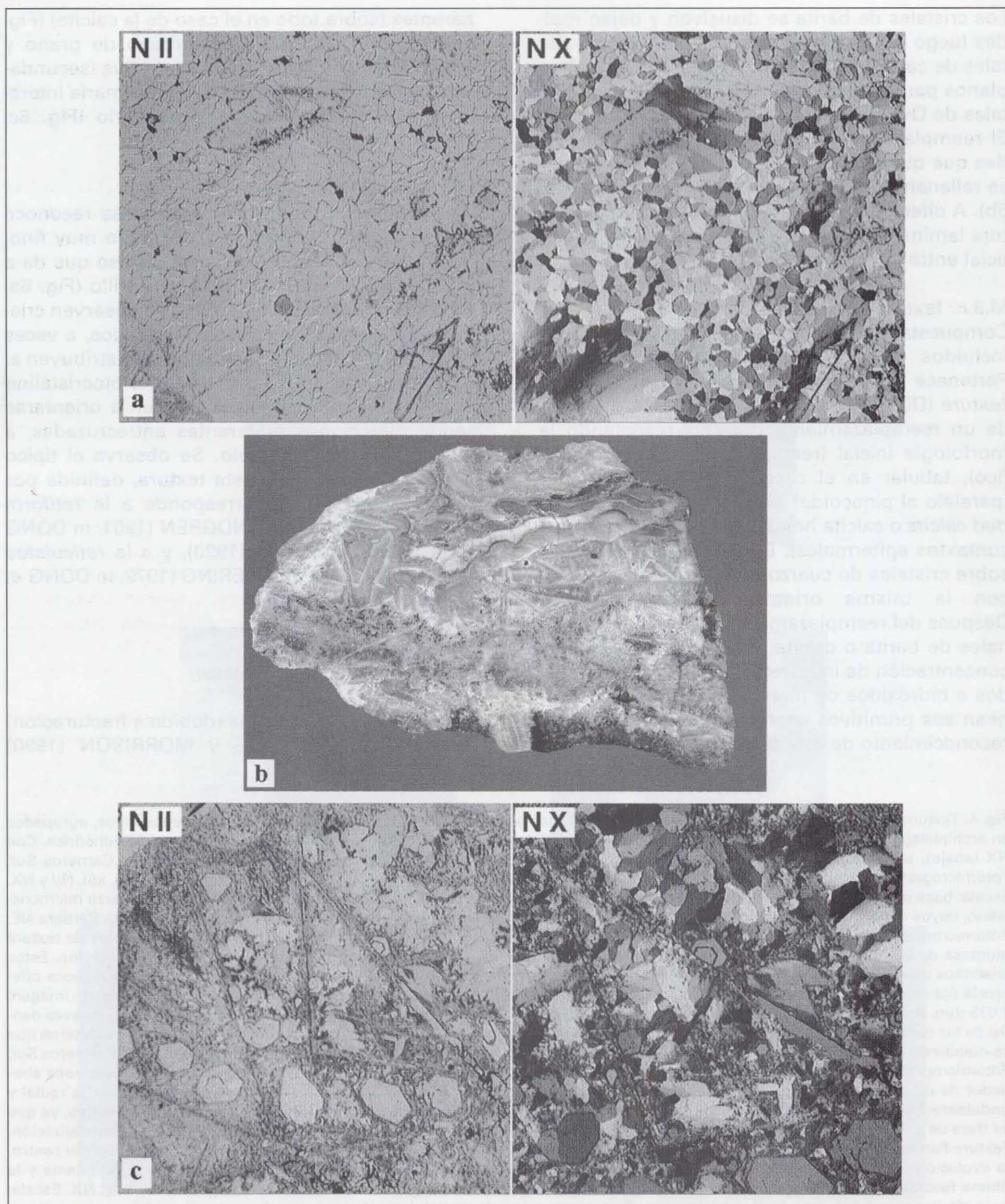


FIGURA 5

como *spider-veinlet texture*, aparece como una red discontinua y dendrítica de vetillas o microfisuras que recortan el cuarzo huesped (Fig. 6b, arriba). Las vetillas son muy finas y están rellenas por cuarzo límpido. A escala microscópica, el cuarzo de relleno de vetillas Qvxf presenta generalmente una textura en cresta (Fig. 6b, abajo).

M.4.b. Texturas brechoides (debidas a fenómenos de brechificación hidrotermal)

Es revelante la distinción entre las texturas matriz-soportadas y las clasto-soportadas. Las primeras (Fig. 6c) constan de una matriz de roca triturada o arcillosa, que engloba los eventuales fragmentos clásticos (del encajante o del relleno filoniano previo). Las segundas (Fig. 6d) se componen de un entramado de clastos, formando una estructura caótica y cuyos abundantes intersticios son ocupados por el cemento. Desde el punto de vista metalogenético, los tipos más interesantes, en principio, corresponden a brechas clasto-soportadas con cemento hidrotermal. Este evidencia la circulación de disoluciones hidrotermales y, por tanto, su potencial como metalotecto. Por el contrario, las brechas matriz-soportadas, por su menor permeabilidad y por la escasez de espacio para el relleno hidrotermal, suelen ser estériles.

El Cuadro 3 recapitula los términos texturales presentados en el texto con sus equivalentes en francés y en inglés.

Interpretación

Las texturas primarias (P, Cuadro 1) reflejan las condiciones de formación de los filones. En este trabajo, todas las muestras estudiadas son de cuarzo de relleno y fundamentalmente proceden

del campo filoniano del Cabo de Gata, en un contexto epitermal *low-sulphidation*. El reconocimiento del carácter primario de las texturas es fundamental porque condiciona luego la interpretación de los resultados microtermométricos del estudio de IF (inclusiones fluidas). Las texturas primarias derivadas de un gel de sílice precursor, como la coloforme s.s, en moho y esferulítica son muy interesantes en un estudio de IF, cuando sugieren una fase de ebullición (DONG *et al.*, 1995), con lo cual las indicaciones de presión y temperatura obtenidas por estudio microtermométrico dan las condiciones reales de formación, sin necesidad de corrección.

Las texturas de tapizado póstumas (P5) obligan a una máxima cautela interpretativa, ya que pueden corresponder a eventos distantes en el tiempo y sin relación alguna con el proceso productivo de relleno hidrotermal, a no ser la coincidencia espacial en la misma estructura filoniana. Por ello, aun en el caso de que evidencien cuarzo cristalino prístino (no recrystalizado) con IF primarias y medibles, hay que tener en cuenta que la información microtermométrica y geoquímica que éstas contengan no es necesariamente la de los fluidos de la fase principal de relleno filoniano y, por tanto, puede ser irrelevante. En las restantes texturas primarias (vbgr. P.1, P.4, P.6...), sí pueden realizarse interpretaciones válidas, sometidas a los habituales criterios de petrografía de IF.

Las texturas modificadas (M, Cuadro 1) son también importantes para ilustrar la historia evolutiva del relleno hidrotermal. Los casos observados son interpretables según procesos ya establecidos (DONG *et al.*, 1995). Las texturas primarias derivadas de un gel de sílice son metaestables y tienden a recrystalizar a cuarzo. La textura

Fig. 5. Texturas modificadas II. a: Reemplazamiento. Izquierda: fantasmas cristalinos de probables barita y calcita, presentando morfologías propias y resultando del reemplazamiento por Qvs. Se observa, en la parte superior izquierda un rombo subhédrico y en la esquina inferior derecha un fantasma con forma de diente de perro. Ambos casos son subrayados por inclusiones y/o impurezas. Derecha: la recrystalización invadió todo posteriormente. Cerro Bóveda. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x0,63), N// y NX. Escala: base de imagen: 6,86 mm. b: Reemplazamiento. Textura laminar en trama que consiste en una red de láminas de calcita entrecruzadas y reemplazadas por Qvs que dejan entre sí cavidades polihédricas rellenas por Qvx con textura en cresta. Se observan también texturas coloformes con bandas de calcedonia, ópalo y minerales opacos. Barranco de las Niñas (Rodalquilar). Tamaño de muestra: 7 x 12 cm. c: Reemplazamiento. Textura laminar fantasma. Izquierda: fantasmas de barita tabular incluidos en una masa de cuarzo cristalino. Los cristales de barita reemplazados por Qvs destacan de la matriz de cuarzo, al estar subrayados por impurezas, óxidos e hidróxidos de hierro. Derecha: los fantasmas de barita también destacan de la matriz por las diferencias de tamaño de grano y de forma entre Qvs y Qvx. Mina Santa Bárbara NE. Fotomicrografías, estereomicroscopio. Izquierda: obj. x0,63, N//; derecha: obj. x1, NX. Escalas: bases de imagen: 6,86 mm y 4,25 mm, respectivamente.

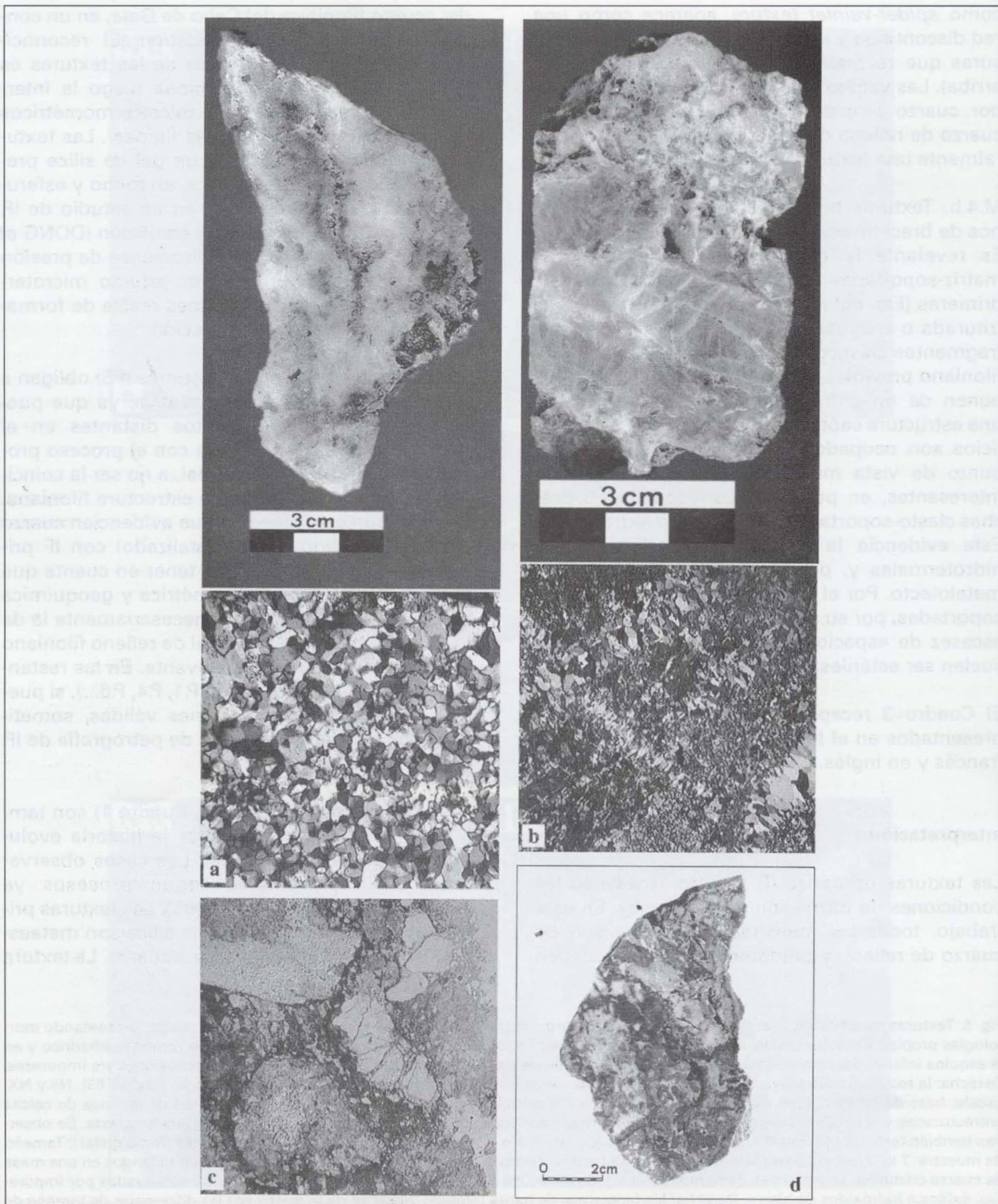


FIGURA 6

plumosa resulta del proceso siguiente: en la fase de cristalización, los cristallitos de cuarzo crecen o se acumulan alrededor de un cristal de cuarzo grande y límpido, muy a menudo euhédrico, que actúa como superficie favorable a la nucleación y al crecimiento. Puede ocurrir que la cristalización siga después de la deposición de los cristallitos, que forman entonces enclaves. Después, estos cristallitos recrystalizan más o menos con la misma orientación cristalográfica que la del cuarzo huésped. El resultado de la recrystalización se observa en las Figs. 4c (textura plumosa de borde) y 4a (textura plumosa interna). Otros casos interesantes son los de las texturas flameante y en esfera fantasma. El componente inicial de estas texturas es calcedonia fibrosa derivada de un gel de sílice precursor y organizada en agregados presentando superficies externas redondas. La cristalización de la calcedonia alrededor de cristales de cuarzo euhédricos y límpidos o sobre los hastiales genera la textura coloforme s.s. Si la calcedonia cristaliza en grupos de esferas, genera la textura esferulítica. Si la solidificación del gel es instantánea, se forma la textura en moho, que no presenta el carácter fibroso-radiado. Estas texturas primarias recrystalizan a textura flameante (Fig. 4f para la textura flameante de borde y Fig. 4g sobre fisura), si son coloforme s.s o esferulítica, y a textura en esfera fantasma (Fig. 4h), si se trata de la textura en moho.

Es interesante interpretar ambas texturas (plumosa y flameante) en cuanto a la evolución de las IF que contienen, como lo hicieron SANDER y BLACK (1988). Ambas texturas recrystalizadas pueden presentar IF cuyo tamaño se presta muy bien a un estudio microtermométrico. Sin embargo, estas inclusiones no son primarias, sino pseudoprimarias, es decir que están dispues-

tas en los cristales como si fueran primarias (paralelas a zonas de crecimiento), pero resultan del proceso de recrystalización. Inicialmente eran en efecto primarias, abundantes e irregulares, atrapadas entre los cristallitos de cuarzo (inclusiones sub- a micrométricas) o entre las fibras de calcedonia (inclusiones submicrométricas). La recrystalización del cuarzo huésped provocó su evolución morfológica y su coalescencia a inclusiones menos numerosas, más grandes y de forma más regular. El resultado final de la recrystalización es que las IF se ordenan según las zonas de crecimiento del cuarzo huésped recrystalizado y son casi indistinguibles de las auténticas inclusiones primarias. El reconocimiento petrográfico de las texturas recrystalizadas permite distinguir estas inclusiones pseudoprimarias y evitar un estudio microtermométrico irrelevante, en cuanto a las condiciones de formación de los filones.

En caso de recrystalización muy avanzada, resultando un cuarzo de aspecto "normal" con aparente zonado de crecimiento, los siguientes criterios son útiles para descubrir la presencia de IF pseudoprimarias: 1) relación con otras texturas modificadas, menos evolucionadas, en granos adyacentes o de la misma generación; 2) incoherencia microtermométrica de los datos de petrografía IF (particularmente relación L:V) en la misma zona y, por tanto: 3) inexistencia de *asociaciones de IF* válidas en el sentido de GOLDSTEIN y REYNOLDS (1994).

Por lo que se refiere a las texturas de deformación, pueden ser muy variadas y la interpretación completa de todas las categorías existentes, aunque muy útil para exploración (BAKER *et al.*, 1986), desborda el marco y la escala del presente trabajo. No obstante, sí es interesante comentar

Fig. 6. Texturas modificadas III. a: Reemplazamiento. Textura sacaroide. Arriba: en muestra de mano, el cuarzo sacaroide tiene un aspecto homogéneo, de grano muy fino, grisáceo. Se parece a un azúcarillo, lo que le dió su nombre. Abajo: textura sacaroide en lámina transparente. Los cristales de cuarzo son subhédricos, elongados, a veces intercrecidos, distribuidos al azar en una matriz de Qvxx anhédrico. Arriba: zona Cerro Bóveda. Abajo: Mina Santa Bárbara NE. Fotomicrografía (obj. x10), NX. Escala: base de imagen: 430 μ m. b: Deformación. Textura en telaraña. Arriba (muestra de mano): red discontinua y dendrítica de fisurillas que recortan el cuarzo huésped y originan vetillas finas y rellenas por cuarzo límpido. Abajo: a escala microscópica, se ve que el cuarzo de relleno de las vetillas presenta una textura en cresta. Cerro Bóveda. Arriba: muestra de mano. Abajo: fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. x0,63), NX. Escala: base de imagen: 6,86 mm. c: Deformación. Textura brechoide matriz-soportada: clastos del encajante (gris) o de cuarzo (blanco) en matriz alterada, de composición arcillosa e impregnada por óxidos. Mina Santa Bárbara NE. Fotomicrografía, estereomicroscopio (obj. 0,63), N//. Escala: base de imagen: 6,86 mm. d: Deformación. Textura brechoide clasto-soportada, estructurada sobre clastos del encajante ignimbrítico alterado (gris), cementados por alunita (blanca) y calcedonia (negra). Rodalquilar.

	ESPAÑOL		FRANÇÉS		INGLÉS	
	crustiforme o en hojaldre		crustiforme		crustiform, crustification banding (Adams, 1920) o layer cake	
P R I M A R I A S	coloforme o colomorfa	s.s	coloforme	s.s	coloform (Rogers, 1917 in Dong et al., 1995), coloform gel banding (Adams, 1920), botryoidal, concretionary, mammillary, spherical, reniform	s.s
		en moho		moisissure		micro-botryoidal gel structure (Adams, 1920), moss (Dong et al., 1995)
		esferulítica		sphérulitique		spherulitic texture
	en escarapela		en cocarde		cockade texture	
	en cresta, en empalizada, en peine	s.s	en crête (de coq), palissadique, en dents de peigne	s.s	cockscorb, rooster's comb, comb texture (Adams, 1920)	s.s
		en roseta		en rosette		rosette (Dowling y Morrison, 1990)
		en abanico		en éventail		fan-shaped group, spheroidal crystallization (Adams, 1920)
	cavidades póstumas		cavités posthumes		pore o cavity infill	
	masiva	microcristalina	massive	microcristalline	massive	microcrystalline
		gruesa		grossière		buck, bull (Dowling y Morrison, 1990)
M O D I F I C A D A S	residuales		résiduelles		residual textures	
	R E C R I S T A L I Z A C I O N	en rompecabezas, en puzzle	R E C R I S T A L L I S A T I O N	en casse-tête, en puzzle	R E C R Y S T A L L I Z A T I O N	jigsaw (Lovering, 1972 in Dong et al., 1995)
		plumosa		plumeuse		feathery (Adams, 1920), plumose (Sander y Black, 1988)
		flameante		flamboyante		flamboyant (Adams, 1920), plumose (Sander y Black, 1988)
		en esfera fantasma		en sphères fantômes		ghost-sphere (Dong et al., 1995)
	R E E M P L A Z A M I E N T O	fantasmas cristalinos	R E E M P L A C E M E N T	fantômes cristallins	R E P L A C E M E N T	ghost crystals
		laminar en trama		lamellaire en trame		lattice bladed (Dong et al., 1995), lamellar (Adams, 1920), pseudomorphic lamellar, platy, tabular quartz texture
		laminar fantasma		lamellaire fantôme		ghost-bladed (Dong et al., 1995)
		sacaroides		saccharoïde		saccharoidal (Dowling y Morrison, 1990), retiform (Lindgren, 1901 in Dong et al., 1995; Adams, 1920), reticulated (Lovering, 1972 in Dong et al., 1995)
	D E F O R M A C I O N	en telaraña, red de fisuras	D É F O R M A T I O N	en toile d'araignée, réseau de fissures	D E F O R M A T I O N	spider veinlet (Adams, 1920; Dowling and Morrison, 1990), fissures network
		b r e c h o i d e		b r é c h i q u e		b r e c c i a
		matriz-soportada		soutien assuré par la matrice		matrix-supported
		clasto-soportada		soutien assuré par les clastes		clast-supported

Cuadro 3. Cuadro recapitulativo de los diferentes términos texturales propuestos, con sus equivalentes en francés y en inglés.

brevemente las aquí definidas. La textura en tela-
raña, caracterizada por una red discontinua y
dendrítica de microfisuras, se distingue del *stock-
werk* por tener aquella una sola generación de
vetas y relleno hidrotermal y estar situada, por
tanto, a mayor distancia del foco magmático o
térmico. La transición puede estar marcada por
texturas del tipo *shatter breccia*, *crackle breccia* y,
a mayor intensidad de fracturación y relleno -y,
por tanto, de sobrepresión y actividad de fluidos,
diversas clases de brechas clasto-soportadas,
mientras que las brechas matriz-soportadas, *mill
breccias*, *pebble breccia dykes*, etc... no implican
relación con la mineralización.

CONCLUSIONES

La clasificación propuesta habla por si misma en
cuanto al significado de los diferentes tipos de
cuarzo, si se quieren interpretar sus condiciones
de formación. Estas están reflejadas de forma
directa únicamente en las clasificadas como pri-
marias, en la medida en que no hayan sido afec-
tadas por modificaciones posteriores. Lo que no
significa que las modificadas carezcan necesaria-
mente de interés informativo. El cuarzo caracteri-
zado por algunas de las texturas modificadas,
como las residuales (M.1) o las de deformación
(M.4), podría conservar asociaciones de inclu-
siones fluidas (en el sentido definido por
GOLDSTEIN y REYNOLDS, 1994) no afectadas
por la modificación. Una rápida petrografía de IF
proporcionará criterios para decidir si el cristal de
cuarzo que las alberga puede haber representado
un escudo suficientemente eficaz y garantizar el
cumplimiento de los requisitos necesarios para
que pueda abordarse con el mínimo rigor el estu-
dio microtermométrico de IF (constancia de volu-
men y composición, etc...); además, permitirá
caracterizar como es debido las asociaciones de
IF (primarias, secundarias, etc.), con respecto al
cuarzo en cuestión.

Los trabajos de FOURNIER (1985) sobre el com-
portamiento de la sílice en disoluciones hidroter-
males y la aplicación a las condiciones epiterma-
les (particularmente SANDER y BLACK, 1988;
DONG et al., 1995) han proporcionado claves
muy interesantes para interpretar las texturas
modificadas del tipo recristalización (M.2) y
reemplazamiento (M.3), relacionando los proce-
sos físico-químicos de formación y de transfor-

mación de los minerales primarios con el resul-
tado geométrico-textural de los mismos, obser-
vable al microscopio. Es particularmente rele-
vante el proceso de recristalización de fases
hidratadas de sílice amorfa o calcedonia, que
pueden segregar en IF "seudoprimarias" (por
marcar un zonado de crecimiento, SANDER y
BLACK, 1988) el agua original de hidratación.
Evidentemente, la información microtermomé-
trica de dichas inclusiones, sobre todo si se tiene
en cuenta el proceso admitido de su generación
por solución y redeposición, no refleja las condi-
ciones originales de deposición del gel. Varios
autores sugieren que el proceso es posible
incluso por recristalización del cuarzo (vbgr.
"inclusiones de exsolución" citadas por
ROEDDER, 1984).

De ello se deduce la improcedencia de cualquier
interpretación, sobre todo cuando implica micro-
termometría cuantitativa, si no va precedida de
una petrografía rigurosa de las mismas y, parti-
cularmente en los ambientes considerados, de su
caracterización textural.

Por otra parte, los resultados preliminares de la
investigación por termoluminiscencia (TL) en
curso en la Faculté Polytechnique de Mons
(Bélgica), sobre las mismas muestras, revelan
una estrecha correspondencia entre la classifica-
ción textural expuesta y la caracterización TL, lo
que sugiere que la evolución textural manifiesta,
efectivamente, unos procesos que traducen la
evolución físico-química real de las muestras en
cuestión (DEMOUSTIER et al., en prensa).

Todo ello revela la necesidad y procedencia,
sobre todo en ambientes epitermales, de una
caracterización rigurosa de las texturas del
cuarzo de relleno, como paso indispensable para
una interpretación correcta de las condiciones de
depósito, de la historia evolutiva de éste y de su
interpretación, particularmente térmica. A este
objetivo pretende contribuir la clasificación pro-
puesta (Cuadros 1 y 2).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a D. Carlos Antón y a la
compañía HC Multimedia su valiosa colaboración
para la realización y presentación de la docu-

mentación gráfica. La instrumentación utilizada para el presente trabajo ha sido co-financiada por los proyectos GR92-0135 y UE95007 (CICYT).

REFERENCIAS

ADAMS S.F. (1920). A microscopic study of vein quartz. *Econ. Geol.*, vol. XV, 8, 623-665.

BAKER E. M., KIRWIN D. J., TAYLOR R. G. (1986). Hydrothermal breccia pipes. *Economic Geology Research Unit Contribution*, 12. Geology department. James Cook University of North Queensland.

CASTROVIEJO R. (1994). Precious metals geology and exploration in Spain: progress and questions. *Chron. Rech. Min.*, 516, 3-24.

DEMOUSTIER A. (1995). Contribution à la caractérisation des quartz aurifères de la région de Cabo de Gata, province d'Almería, Espagne. *Pétrographie-thermoluminescence-inclusions fluides*. Travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons. 63p + annexe.

DEMOUSTIER A., CASTROVIEJO R. (1997). Fluid inclusion characterization of the Carneros epithermal ores (Cabo de Gata, Almería, SE Spain): preliminary results. *XIV ECROFI (European Current Research on Fluid Inclusions)*, Nancy, France. Abstracts, 82-83.

DEMOUSTIER A., CHARLET J. M., CASTROVIEJO R. (1998). La

thermoluminescence basse température des quartz filoniens de la zone volcanique de Cabo de Gata (Province d'Almería, Espagne), relation avec les textures. *C. R. Acad. Sc. Paris*. En prensa.

DONG G., MORRISON G., JAIRETH S. (1995). Quartz textures in epithermal veins, Queensland-Classification, origin and implication. *Econ. Geol.*, vol. 90, 1841-1856.

DOWLING K., MORRISON G. (1990). Application of quartz textures to the classification of gold deposits using North Queensland examples. *Econ. Geol. Monograph*, vol. 6, 342-355.

FOURNIER R. O. (1985). The behaviour of silica in hydrothermal solution. *Reviews in Economic Geology*, vol. 2, 45-61.

GOLDSTEIN R. H., REYNOLDS T. J. (1994). Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *Society for Sedimentary Geology Short Course* 31, 199p.

ROEDDER E. (1984). Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America, Reviews in mineralogy*, vol. 12, 644p.

SANDER M. V., BLACK J. E. (1988). Crystallization and recrystallization of growth-zoned vein quartz crystals from epithermal systems-implications for fluidinclusion studies. *Econ. Geol.*, vol. 83, 1052-1060.

VEARNCOMBE J. R. (1993). Quartz vein morphology and implications for formation depth and classification of Archaean gold-vein deposits. *Ore Geology Reviews*, 8, 407-424.

Original recibido: Junio 1998.

Original aceptado: Septiembre 1998.

YACIMIENTOS DE ORO INTRAGRANITICOS EN EL NO DEL MACIZO IBERICO.

Por R. URBANO (*)

R E S U M E N

En este trabajo se describen los depósitos auríferos de Corcoesto (Coruña), Tomiño (Pontevedra), Penedono (Norte de Portugal) y Pino (Zamora), encajados en distintas áreas graníticas del NO del Macizo Ibérico. Todos ellos presentan características comunes en relación con el control geológico-estructural de las mineralizaciones y los procesos de enriquecimiento aurífero.

Las mineralizaciones están relacionadas con sistemas de fracturación desarrollados en granitos hercínicos. Estos, a su vez, están emplazados en bandas de cizalla de carácter regional y afectados por las últimas fases de deformación. El mayor aporte de oro se produce en las etapas hidrotermales más tardías, ligadas a deformación frágil, con una intensa microfracturación de los cuerpos de cuarzo, principales portadores del oro y minerales acompañantes (sulfuros y sulfosales).

Palabras clave: Oro, NO Macizo Ibérico, Intragránítico, Zona de cizalla, Inclusiones fluidas.

A B S T R A C T

This article describes the intragranitic gold deposits of Corcoesto (Coruña), Tomiño (Pontevedra), Penedono (North of Portugal) and Pino (Zamora). All of them show similar characteristics regarding to lithological and structural control of the mineralizations and the gold enrichment process.

The mineralization is associated with fracture systems developed on Hercynian granites. Such granites are located in regional shear zones and have been affected by the last deformational phases of the Hercynian Orogeny. The main gold deposition took place during the late brittle deformational stages, linked to microfissuration of quartz lenses, which are the preferential host for ore deposition.

Key words: Gold, NW Iberian Massif, Intragranitic, Shear Zone, Fluid inclusion.

INTRODUCCION

Gran cantidad de depósitos auríferos, encajados en extensas áreas graníticas del Macizo Ibérico, han sido explotados a lo largo de sucesivas etapas de la historia de la minería, desde tiempos prerromanos hasta mediados del presente siglo, y algunos hasta fechas más recientes, como el yacimiento de Jales, en Vila Pouca de Aguiar (Norte de Portugal), que se mantuvo en explotación hasta 1992. En los últimos años, estos yacimientos intragráníticos han sido objeto de una intensa actividad de exploración, siguiendo las pautas de los actuales modelos genéticos y de control estructural de las mineralizaciones.

Entre los yacimientos estudiados, los de Corcoesto y Penedono han tenido una minería histórica importante, que se continuó a finales del siglo pasado hasta mediados del presente. Los otros dos depósitos de Tomiño y Pino, solamente se han explotado de manera superficial en épocas pasadas.

El análisis de las características estructurales, metalogenéticas y físico-químicas, que se describen en este trabajo, está tomado del estudio realizado sobre estos mismos yacimientos, dentro del proyecto cofinanciado de la U.E. "Multidisciplinary studies of Au vein formation. Application to the Western part of the Hesperian Massif (Spain-Portugal)" CATHELINEAU *et al.*, 1993, donde se tratan en profundidad los diversos aspectos.

(*) ITGE. Ríos rosas, 23. 28003 MADRID. Dirección de Recursos Minerales.

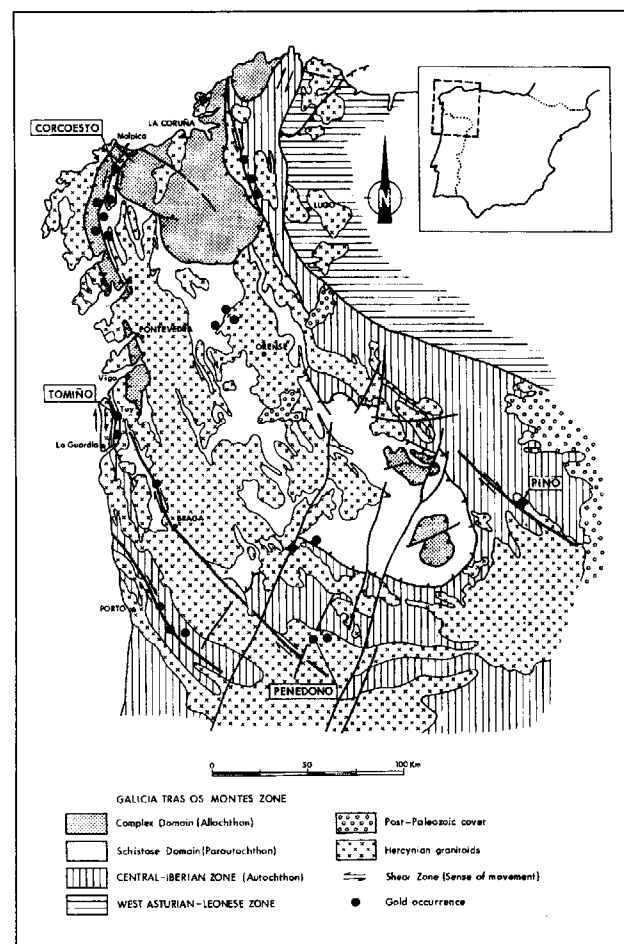


Fig. 1: Síntesis geológico-estructural del NO de la Península Ibérica. Situación de los principales indicios y yacimientos de oro.

DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS

- **Zona de Corcoesto.** Se encuentra situada en la parte norte y en el borde oriental de la banda de deformación Malpica-Vigo. Existen varios grupos de labores mineras repartidas dentro de un área de unos 2 km², encajadas en una banda granítica que se extiende en dirección NE-SO con una anchura aproximada de 1 km. Las labores atribuidas a los romanos son calicatas y pequeñas cortas, que llegan a alcanzar los 10 metros de profundidad y algún pozo hasta 20 metros, para explotar de manera superficial los filones mineralizados, siguiendo la dirección dominante N80°E. A finales del siglo pasado y hasta 1903 fueron explotados por la compañía inglesa

"Sagasta Gold Mines Limited". El conjunto total de labores, que supera el centenar, abarca unos 2.830 m de galerías y 352 m de pozos. Entre ellas destaca el grupo de "Pozo Grande" o "El Inglés", que alcanza los 90 metros de profundidad, con labores a tres niveles que se extienden en más de 600 metros de galerías. Las referencias de producción indican que en el período 1898 a 1903 se trataron unas 5.850 t de mineral con una ley media de 15,8 g/t de oro. Se explotaron 11 filones principales con dirección aproximada E-O, con potencias variables entre 5 cm y 150 cm y leyes que oscilan entre 4 g/t y 45 g/t de oro. La paragénesis fundamental es de arsenopirita y oro, y como minerales accesorios pirita, calcopirita, pirrotita y scheelita.

En los últimos años, la empresa Río Tinto Minera llevó a cabo una investigación mediante sondeos profundos (hasta 740 m), con objeto de conocer la evolución en profundidad de la mineralización observada dentro de una banda formada por dos láminas graníticas, de 50 a 100 m de espesor respectivamente, encajadas en series metamórficas. El conjunto granítico es sintectónico de la segunda fase de deformación hercínica, con foliación subvertical paralela a la esquistosidad regional y, localmente, con deformación dúctil más intensa. Está formado por granitos aluminicos, incluyendo granito biotítico porfiroide, y una serie de granitos peraluminicos incluyendo leucogranitos, aplitas con granate y felsitas. Las zonas mineralizadas presentan venas de cuarzo con arsenopirita, cortando transversalmente los planos de foliación, y con diseminaciones de arsenopirita en el granito encajante. La mineralización se produce en una primera fase hidrotermal con implantación de venas de cuarzo y arsenopirita, sin alteración del encajante, seguida de una fase tardía, responsable probablemente del enriquecimiento en oro, observable en las zonas más ricas en venas de cuarzo con arsenopirita, asociada a una lixiviación de la roca de caja ligada a la desaparición de la biotita y su reemplazamiento por clorita acompañada de fengita.

- **Zona de Tomiño.** Se sitúa al sur de la provincia de Pontevedra y a su vez en la extensión meridional de la banda de deformación Malpica-Vigo.

Los principales haces filonianos intragraníticos con mineralización aurífera encajan en el dique

granítico de Urgal, intruido en la banda de meta-sedimentos de Monteferro-El Rosal, que se extiende con orientación NNO-SSE en unos siete km de longitud, desde las proximidades de Bayona, en su parte N. La facies principal es un granito de dos micas, de grano medio-fino, con moscovita dominante y turmalina como mineral accesorio. Presenta una foliación paralela a la esquistosidad principal del encajante.

La mayor concentración de filones se presenta en la parte sur del dique, en el Alto de Pozas, en un tramo de 2 km con una anchura entre 40 m y 120 m. Dentro de este tramo se localizan un conjunto de antiguas labores a cielo abierto, que pueden alcanzar los 5 metros de profundidad, y se extienden a lo largo de 1 km. La potencia de los filones mineralizados varía desde simples fisuras, tapizadas de cuarzo y sulfuros, a filones de cuarzo decimétricos, estando el 90% por debajo de los 10 cm. La orientación espacial es bastante uniforme, comprendida entre 60°E y 80°E, con una pendiente media de 78°N. La densidad o espaciado entre filones varía desde tramos de mayor densidad con filones a intervalos de 1 metro, hasta tramos con filones a intervalos de varios metros. La greisenización lateral de la roca encajante, que acompaña a los filones, varía desde varios mm hasta más de 1 m. El contenido en oro en los filones de cuarzo es muy irregular. Los tramos mineralizados interceptados en los sondeos, más significativos por su contenido aurífero (incluyendo filón de cuarzo y greisen), varían en sus potencias entre 15 cm y 110 cm, y los valores de oro oscilan entre 3,5 ppm y 30 ppm.

En relación con la mineralización, se pueden diferenciar varias paragénesis consecutivas (URBANO et al. 1992): 1) Paragénesis postmagmática, precoz en relación con la greisenización; 2) De endogreisen; 3) Hidrotermal temprana; 4) Hidrotermal tardía; 5) Supergénica.

En la paragénesis de endogreisen, el oro nativo es muy escaso y únicamente se encuentra como inclusiones muy diminutas (< 8 µm) dentro de otros minerales (calcopirita). En los filones de cuarzo, en la paragénesis hidrotermal temprana, hay mayor abundancia de inclusiones de oro en calcopirita, ocasionalmente aparecen en pirita y más raramente en arsenopirita, con tamaños < 15 µm. En las últimas etapas de hidrotermalismo

aparecen gruesos cristales de oro nativo en fracturas que atraviesan los sulfuros (microfracturación tardía), con tamaños comprendidos entre 25 µm y 35 µm, llegando a alcanzar 175 µm. En la secuencia de cristalización de la paragénesis de alteración se puede observar una relación entre el progreso del proceso hidrotermal y el enriquecimiento en algunos minerales: calcopirita, esfalerita (rara), bismutinita, bismuto nativo y oro. En esta evolución merece destacarse la afinidad del oro con la calcopirita, en contraste con la asociación del oro con arsenopirita y pirita, observada en otras zonas del NO.

- **Zona de Penedono.** Situada en la parte NE de Portugal, en la margen meridional del río Duero, en el distrito de Viseu. Hay tres grupos de minas distribuidos en un eje NO-SE, espaciados unos 5 km, y se localizan en granitos alcalinos de dos micas (macizos de Tabuaço y Penedono), alargados según la misma dirección axial. La mineralización está asociada fundamentalmente a filones de cuarzo con arsenopirita, relacionados con zonas de cizalla desarrolladas en los granitos. La distribución de los filones de cuarzo sigue una pauta "en echelon". En el contacto de los filones con el granito se desarrolla una intensa alteración hidrotermal (greisenización). Los granitos intruyen metasedimentos cámbricos del Complejo Esquisto-Grauváquico, Grupo Douro, afectados por las fases de deformación hercínica. El granito de Penedono está intensamente deformado y presenta una foliación regular N60°O. La datación K-Ar atribuye a este granito una edad de 320-315 Ma, claramente sintectónica de la tercera fase de deformación (FERREIRA et al., 1987).

El área ha sido explotada desde tiempos de los romanos, cuyas labores son todavía observables en superficie y explotaban los filones de cuarzo mineralizados, generalmente hasta profundidades no superiores a 30 metros. En los años cuarenta, la empresa "Companhia das minas de ouro de Penedono" comenzó la explotación mediante labores subterráneas, hasta 1957. La explotación principal se llevó a cabo en la mina St Antonio-Vieiros, donde se encontró un grupo de 13 filones de cuarzo con orientación N40°-50°O, concentrados en una banda de 800 m de anchura. Datos oficiales indican que la producción principal fue obtenida entre los años 1954 y

1957, con 100.800 toneladas y un contenido medio en Au de 7,0 g/t. En el año 1986 la empresa consultora (*Partex, Companhia Portuguesa de Serviços*) realizó un estudio preliminar de viabilidad del grupo de minas de Penedono y se llegaron a estimar unas reservas, sobre filones de cuarzo mineralizados, hasta la profundidad de 80 metros, de 1.200.000 t con 11.500 kg de Au.

Se pueden diferenciar tres etapas principales en el proceso de mineralización (SOUSA y RAMOS, 1991): En la primera etapa tiene lugar la deposición de cuarzo y arsenopirita, con presencia de pequeñas cantidades de bismuto, bismutinita y oro incluidas en arsenopirita, sin una relación genética clara. En la etapa intermedia se deposita calcopirita-esfalerita y posteriormente se forman pequeños cristales de galena y arsenopirita. En la última etapa se produce la brechificación y microfracturación de los sulfuros y consiguiente deposición principal de oro nativo y/o electrum.

- **Zona de Pino.** Está situada al oeste de la provincia de Zamora y geológicamente está comprendida en el Dominio Norte de la Zona Centro Ibérica. Las principales mineralizaciones auríferas se localizan dentro del plutón de Ricobayo, cuerpo granítico alargado en dirección NO-SE, de unos 150 km², que intruye materiales ordovícicos y preordovícicos. El granito portador de las estructuras mineralizadas presenta varias facies, siendo el granito de dos micas la facies dominante, con zonas más moscovíticas ocasionales.

Existen vestigios de una actividad minera antigua, posiblemente romana, como lo atestiguan numerosos pocillos de lavado de mineral sobre afloramientos graníticos. Las labores de explotación son, en general, de poca entidad - pozos, zanjas, calicatas y pequeñas cortas - sin evidencias claras de galerías y trabajos subterráneos.

La mineralización está relacionada con bandas de cizalla subverticales, de carácter dúctil-frágil, de dirección N68°E, con movimiento senestro, subordinadas de la banda de cizalla regional de Villalcampo. Estas estructuras están intruidas por diques de cuarzo y rocas básicas, presentan zonas brechificadas y milonitizadas, y son las portadoras de las mineralizaciones auríferas de Pino. A su vez, llevan asociadas zonas de alteración hidrotermal que consiste fundamentalmente

en silicificación, potasificación, sericitización y, localmente, cloritización. La mineralización principal está compuesta por arsenopirita, escorodita (secundaria), pirita y oro nativo, y localmente hay además calcopirita, esfalerita y magnetita. Tanto la alteración como la mineralización tienen una relación directa con los procesos de deformación dentro de las bandas de cizalla, que evolucionan de manera cíclica alternando los regímenes dúctil y frágil, al cambiar las condiciones de presión de fluidos en el paso de un estado a otro. Este proceso permitiría un enriquecimiento mineral importante aun partiendo de fluidos con elementos escasos como el oro (SIBSON, 1977; BURNALL, 1989; HODGSON, 1989). Las estructuras mineralizadas varían entre algunos metros a 1 km de longitud y entre 1 m y 200 m de anchura, aunque la mayor parte está entre los 5 y 10 m.

CONTROL ESTRUCTURAL DE LAS MINERALIZACIONES

Las principales manifestaciones auríferas del noroeste de la Península Ibérica se distribuyen en estrecha relación espacial con bandas de deformación de ámbito regional, en régimen de cizalla dúctil o frágil-dúctil, con sistemas de fracturación secundarios, que se han generado y evolucionado en las últimas fases de la orogenia hercínica.

Las principales intrusiones graníticas que albergan las mineralizaciones son sintectónicas de las últimas fases de la orogenia hercínica, con rasgos de deformación dúctil desarrollados durante la fase de emplazamiento, y posteriormente afectadas por sucesivas etapas de deformación frágil creando los sistemas de fracturación y percolación favorables para la circulación de fluidos mineralizadores.

Entre las bandas de cizalla regionales relacionadas con la distribución de depósitos auríferos intragraníticos, desarrolladas durante la tercera fase de deformación hercínica, podemos destacar: Malpica-Vigo, banda de cizalla dúctil dextral, cuya orientación varía de N30° en la parte Norte a N170° en el Sur (IGLESIAS, 1980); Vigo-Regua, banda de cizalla dúctil dextral que se extiende en dirección NO-SE, entre Tomiño-Braga-Amarante y Moimenta da Beira (PEREIRA, 1993). En la

última fase de deformación hercínica, fundamentalmente de carácter frágil, se desarrollan importantes sistemas de fracturas de orientación NE-SO, con movimiento senestral, entre los cuales podemos resaltar la Falla de Vilarreal (GUTIERREZ CLAVEROL, 1987), a la cual se asocia el depósito aurífero intragranítico de Jales (Vila Pouca de Aguiar).

Al norte de la banda de deformación Malpica-Vigo se emplaza el granito de Monteneme, en el que encajan más de una decena de indicios de oro, destacando entre ellos el grupo de labores mineras de Corcoesto. En el aspecto estructural la zona ha sido estudiada por GOUANVIC *et al.* (1981) y BURG e IGLESIAS (1985). El granito presenta una deformación por cizalla dúctil de carácter dextral, con desarrollo de planos C y de foliación S. Los filones mineralizados encajan en grietas de tensión N130°E, subperpendiculares a la foliación, y en disposición simétrica aparecen filones relacionados con cizallas conjugadas.

En la extensión sur de la banda de cizalla Malpica-Vigo se emplaza el dique granítico de Urgal, intruido en la banda esquistosa de Monteferro-El Rosal, y en el que encajan los haces filonianos, con mineralización aurífera, del Alto de Pozas (Tomiño). A su vez esta parte queda comprendida entre la zona de cizalla de La Guardia al O, y la zona de cizalla Malpica-Vigo y Vigo-Regua al E (TOYOS, 1995). El granito presenta foliación paralela a la esquistosidad regional de la tercera fase de deformación hercínica, y por lo tanto, sintectónico de la misma. La interpretación estructural de los haces filonianos mineralizados, según IGLESIAS (1989) y TOYOS (1993) es como sigue: Etapa inicial con desarrollo de un primer grupo de fracturas de cizalla, con desplazamiento senestral, en la que se produciría la greisenización y el emplazamiento de los primeros filones de cuarzo y primeros sulfuros (pirita, arsenopirita, pirrotina). En una segunda etapa, un cambio en la orientación de los esfuerzos provocaría la apertura de las fracturas anteriores, en régimen tensional, y generación de otras nuevas, con deposición de cuarzo y sulfuros (pirita, arsenopirita, calcopirita) más oro. Finalmente tendría lugar un proceso de fracturación tardía y brechificación, en el que se depositarían sulfuros tardíos (calcopirita, esfalerita, bismutinita) sulfosales y oro nativo. El estudio de

microfracturación realizado por CATHELINEAU (1993) sobre muestras orientadas, indica una microfisuración más intensa en el centro del filón del cuarzo, con predominio de orientación subperpendicular a la dirección del filón, decreciendo hacia el granito, en el que la orientación de las microfisuras es subparalela al filón.

El grupo minero de Penedono se sitúa varios km al este de la extensa zona de cizalla Vigo-Regua, orientada N65°O, subvertical con sentido de giro dextral. Los sistemas conjugados de este lineamiento regional se resuelven en zonas de cizalla menores, de carácter senestral, orientadas E-O a ENE-OSO, que son las que controlan el desarrollo de los sistemas de fracturación de la zona de Penedono. A este grupo pertenece la mina de San Antonio, localizada en el granito de Laboreira, dentro de una zona de cizalla senestral subvertical de dirección E-O, responsable de la apertura de un conjunto de grietas de tensión N45°O, de 0,5 m a 1 m de anchura, con una primera fase de deposición de cuarzo, arsenopirita, pirrotita y oro (PEREIRA, 1993). Los sucesivos procesos en régimen dúctil-frágil, generan nuevas fracturas e inducen una segunda fase de mineralización, con fracturación de la anterior y deposición de una segunda generación de cuarzo, oro, pirita y wolframita, acompañada de intensa greisenización. La última fase de deformación frágil y un giro en el sentido de los esfuerzos produce una reactivación de las fracturas preexistentes y deposición de bismutinita, bismuto, galena, electrum y sulfosales. El estudio microestructural sobre muestras orientadas revela que la dirección principal de microfisuración E-O, representada por los planos de inclusiones fluidas, corresponde a la mayor circulación de fluidos en los filones de cuarzo.

El control estructural de las mineralizaciones auríferas de Pino está relacionado con la banda de cizalla regional de Villalcampo, estudiada en detalle por GONZALEZ-CLAVIJO (1990,1994). Tiene una dirección N135°E y se dispone subvertical, con movimiento dextral, presentando una lineación mineral de estiramiento subhorizontal, y se puede observar en una longitud de 40 km con una anchura de 2 a 3 km. En su extensión NO se ramifica en un abanico distensivo (horse tail) que afecta al granito de Ricobayo. Dentro de esta zona extensiva se han diferenciado dos grupos

de estructuras de cizalla subordinadas, senestras y subverticales. Uno de estos grupos tiene una dirección media N68°E y se sitúa en el borde externo del abanico, en ambiente distensivo, con abundantes milonitas brechadas. Estas estructuras llevan asociadas zonas de alteración y son las portadoras de las mineralizaciones auríferas de Pino.

Se pueden diferenciar tres etapas sucesivas principales en el control estructural de las mineralizaciones auríferas intragraníticas:

- Etapa temprana, en la que se forman las primeras estructuras, en relación con grandes zonas de cizalla regional. En esta etapa tiene lugar la deposición del primer cuarzo, que es posterior a algunos procesos de alteración que afectan a los granitos (greisenización, albitización-turmalinización), y que generalmente rellenan estructuras relativamente pequeñas (desde grietas de tensión métricas a estructuras de escasos centenas de metros). La deposición de este cuarzo masivo en los espacios abiertos, parece estar precedida también por la cristalización de algunos sulfuros precoces (pirita, arsenopirita) en el granito encajante. Dentro del cuarzo aparecen sulfuros estériles, sin evidencia de deposición de oro en esta etapa.

- Etapa intermedia. La reactivación tectónica repetida conduce a una brechificación del cuarzo precoz y consiguiente cicatrización o sellado, creando espacios rellenos con cuarzo masivo cementado por cuarzo microcristalino, que han de servir de soporte de las posteriores deposiciones minerales. Se produce también la brechificación de los sulfuros precoces y deposición de otros nuevos (arsenopirita) con el cuarzo sacaroides.

- Formación de las trampas más favorables para la deposición del Au móvil. Una nueva reactivación tectónica (generalmente en régimen compresivo caracterizado por un cambio en la dirección de los esfuerzos principales) en condiciones diferentes de P-T, da lugar a la etapa principal de deposición aurífera, asociada a una intensa microfracturación. La deposición de oro nativo, juntamente con sulfuros y sulfosales (Pb-Ag principalmente), tiene lugar a lo largo de microfisu-

ras, especialmente cuando cortan a los sulfuros precoces.

Las heterogeneidades reológicas (diques graníticos dentro de unidades metamórficas, filones de cuarzo en granito, etc) tienen un efecto específico y favorable sobre el grado de permeabilidad, en las etapas finales de deformación frágil. Los filones de cuarzo (matriz de cuarzo precoz cementado por cuarzo microcristalino), con las últimas reactivaciones de esfuerzos, adquieren una mayor permeabilidad y canalizan el mayor flujo de fluidos.

CARACTERISTICAS DE LOS GRANITOS ENCAJANTES DE LAS MINERALIZACIONES

La mayor parte de los granitos encajantes de mineralizaciones auríferas son aluminicos, en su mayoría leucocráticos. Su bajo contenido en oro, con un fondo por debajo de escasos ppb, no parece indicar que puedan representar una fuente de aporte aurífero.

La asociación espacial entre granitos y mineralización aurífera puede ser explicada por dos factores: 1) granitos sintectónicos emplazados en zonas estructuralmente activas, las cuales permanecen móviles en las etapas más tardías de reactivación tectónica, generando gran parte de las estructuras susceptibles de ser mineralizadas. 2) la riqueza en cuarzo es uno de los parámetros más importantes en la deformación de las rocas, y por lo tanto los granitos más ricos en cuarzo, generalmente los más leucocráticos, son los más susceptibles de reaccionar positivamente a la deformación frágil, dando lugar a las series de grietas de tensión (es el caso de Corcoesto y Tomiño, raramente en granitos mesocráticos).

Finalmente, en cuanto a la relación entre los granitos y los depósitos auríferos, se puede considerar que solamente las últimas etapas de intrusiones graníticas (postectónicas de tipo calcoalcalino) podrían ser responsables de los flujos termales que condicionan la actividad hidrotermal tardía responsable de la deposición del oro. Estas anomalías termales se localizan predominantemente en el entorno de grandes lineamientos en correspondencia con zonas de debilidad cortical.

CARACTERISTICAS DE LOS SULFUROS PORTADORES DE ORO

El estudio de los sulfuros, portadores de oro, incluye: paragénesis, estado del oro dentro de los mismos (metálico, químicamente ligado o combinado) y su determinación y distribución en las distintas fases de crecimiento de los cristales. El estudio microscópico de reflexión, espectroscopia Mössbauer, microscopio electrónico de barrido, microsonda electrónica y microsonda iónica son técnicas conocidas, que se han aplicado al estudio de los sulfuros. Los trabajos realizados por CATHELINEAU *et al.*, (1989) y MARION *et al.*, (1991), con las mejoras introducidas en las técnicas de utilización de la Espectrometría de Masas Iónicas Secundarias (SIMS), han contribuido a una mayor precisión en la determinación cuantitativa, in situ, del oro en minerales con bajo contenido, y a un avance en el conocimiento sobre la evolución del estado y presencia del oro en las distintas etapas de formación de un filón mineralizado. Los estudios realizados sobre arsenopiritas de algunos de los filones intragraníticos, que aquí se describen, indican:

La presencia de oro combinado dentro de la arsenopirita representa sólo una pequeña parte del contenido total (<5%).

Los datos del microscopio electrónico de barrido muestran cambios químicos rítmicos entre las zonas de crecimiento de los cristales de arsenopirita, debido a las variaciones en los contenidos en As y S.

El análisis cuantitativo por microsonda electrónica, para determinar el contenido en elementos mayores (Fe, As, S), indica una correlación fuertemente negativa entre As y S, en la mayor parte de los depósitos, mostrando importantes zonaciones en las imágenes de barrido. El Fe es relativamente constante. El contenido en oro, para la mayor parte de los análisis, está por debajo del límite de detección, aproximándose solamente en algunos casos, lo que parece sugerir que la presencia de oro en la arsenopirita es relativamente baja. Se ha observado un contenido alto en Sb en zonas enriquecidas en S y deprimidas en As. Las últimas etapas de cristali-

zación de la arsenopirita se caracterizan por cristales casi euhedrales de pequeño tamaño conteniendo valores en Au y Sb bajos pero detectables.

Las imágenes cuantitativas obtenidas con Espectrometría de Masas Iónicas Secundarias (SIMS) sobre granos de sulfuros resaltan las variaciones de concentración de Au entre las bandas de crecimiento de los cristales. Las concentraciones medias están entre 1 y 80 ppm, dependiendo del origen de las muestras. El oro se presenta en zonas específicas de crecimiento con diferentes contenidos. En la periferia de los cristales el contenido en oro está en el rango de 50-75 ppm. Los valores disminuyen hasta 20-30 ppm en las bandas de crecimiento finas, y hasta 5 ppm en el centro del cristal.

Las secuencias paragenéticas (ver figuras 2 y 3) muestran que la mayor parte del oro metálico

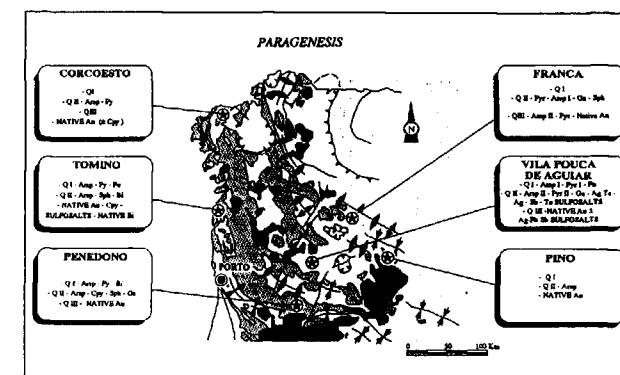


Fig. 2: Secuencias paragenéticas y estado del oro en las mismas (CATHELINEAU *et al.* 1993).

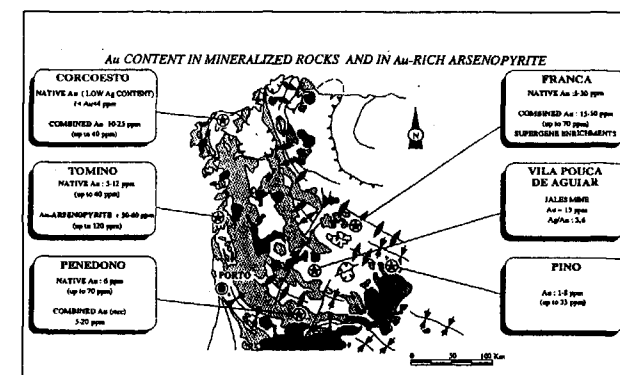


Fig. 3: Mineralogía del oro y contenidos del mismo en minerales portadores (CATHELINEAU *et al.* 1993).

está contenido en los sulfuros precoces (principalmente arsenopirita) pero atrapado en inclusiones y fracturas, indicando una probable formación tardía de la partícula, siendo difícil valorar si el oro fue depositado en las etapas tempranas en los filones, como partículas de oro nativo o incluido en los sulfuros precursores; sin embargo estos últimos no pueden ser considerados como fuentes de aporte significativas al ser estos sulfuros estables y mostrar contenidos en oro muy bajos. La asociación Au-(sulfosales, bismuto, bismutita, calcopirita) es relativamente común (Tomiño, Penedono) aunque puede precipitar Au nativo solamente, sobre superficies de arsenopirita, sin ningún elemento acompañante (caso de Corcoesto y Pino).

La mayor parte de los depósitos estudiados muestran una secuencia similar en la deposición del oro en los filones:

- Se presenta como oro nativo en las asociaciones minerales más tardías. Va acompañado de paragénesis específicas y asociaciones de elementos (ver mapa de síntesis de figura 2). La asociación Bi-Cu-Pb es una de las más significativas.

- Es difícil valorar si el oro estaba presente o no durante las etapas tempranas. Siempre ha sido observado en inclusiones o fisuras que afectan a los sulfuros precoces.

- El oro es introducido en los filones en estado combinado en pequeñas cantidades, durante una etapa relativamente amplia de deposición de arsenopirita.

INCLUSIONES FLUIDAS

Un estudio completo de inclusiones fluidas de los depósitos auríferos que aquí se tratan, fue realizado por ESSARRAJ (1992) y CATHELINEAU *et al.*, (1993) en el CREGU (Nancy, Francia). Las inclusiones fluidas de los depósitos de Penedono fueron estudiadas en la Universidad de Oporto (BARRIGA *et al.*, 1993) (ver figuras 4 y 5). Con los datos de microtermometría y espectrometría Raman se pueden diferenciar los siguientes grupos de fluidos (ver figura 6):

- Fluidos acuo-carbónicos ricos en CH₄. Corres-

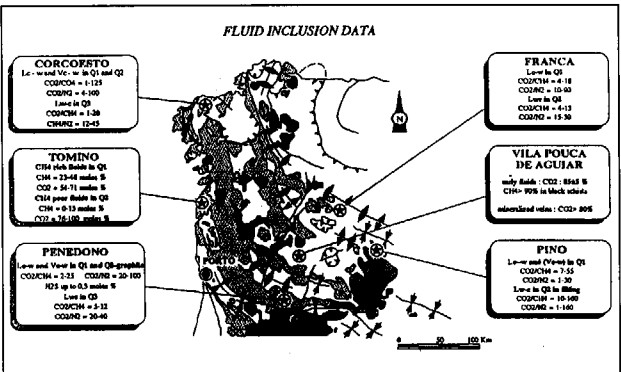


Fig. 4: Comparación general de las principales características químicas de los componentes CHON en inclusiones fluidas (etapas precoces) (CATHELINEAU *et al.* 1993).

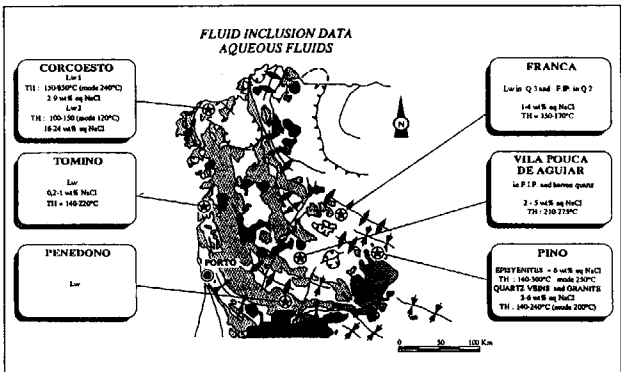


Fig. 5: Comparación general de las composiciones químicas de los fluidos acuosos (etapa aurífera) (CATHELINEAU *et al.* 1993).

ponden a la primera etapa y sólo se han observado en el área de Tomiño, como inclusiones primarias en el cuarzo precoz de los filones. La nomenclatura y los tipos de inclusiones comprenden:

. L(c-m) / V(c-m): monofásicas, compuestas por líquido/vapor de CO₂ - CH₄ - (N₂)

. L(c-m)-w / V(c-m)-w: bifásicas, de composición idéntica y homogeneización en fase líquido / vapor.

En la composición de volátiles domina el CO₂ (54-71%). El CH₄ varía entre 23% y 46% y el N₂ se detecta con frecuencia y está en el rango de 0-10%. El H₂S, cuando se detecta, está entre 0,05 y 0,9%.

- Fluidos acuo-carbónicos con CO₂ dominante (Lc-w / Vc-w : bifásicas o trifásicas compuestas por H₂O-CO₂-(CH₄-N₂) que se homogeneizan en

fase líquido / vapor). Se presentan en inclusiones primarias o pseudo-secundarias, la mayor parte en cuarzos de segunda generación (Q2). La composición de la fase volátil está dominada por CO₂ (75-98%), con CH₄ variable (0-15%) y N₂ (0-10%). También se ha detectado H₂S en el rango 0,2-0,6%.

- Fluidos acuo-carbónicos con H₂O dominante (Lw-c). Inclusiones con H₂O (>87%) con una composición de la fase vapor dentro de los límites: CO₂ (60-90%), CH₄ (5-35%), N₂ (0-15%).

- Fluidos acuosos (Lw). Inclusiones compuestas por H₂O-NaCl que se homogeneizan en la fase líquida. Se presentan en planos de inclusiones secundarias en Q2 y Q3, cortando las agrupaciones o alineaciones de inclusiones acuo-carbónicas. Son de baja salinidad, abundantes y de tamaño pequeño (<10 µm).

Con los resultados de análisis de volátiles así como de los demás componentes aniónicos y catiónicos de las inclusiones (realizados en la Universidad de Leeds por B. YARDLEY y D. BANKS), se ha profundizado sobre el origen de los fluidos. A los fluidos acuo-carbónicos se les atribuye una derivación metamórfica y están asociados a la deposición de los primeros sulfuros (Py, Aspy, Po) así como a los de las etapas inter-

medias (Aspy, Py, Cpy). Los fluidos acuosos se relacionan con los últimos episodios de microfracturación y se les atribuye un origen meteórico. Se asocian a la principal deposición de oro nativo y de los sulfuros más tardíos (Cpy, Bt y sulfosales).

CONCLUSIONES

Las principales estructuras portadoras de las mineralizaciones auríferas intragraníticas están relacionadas con zonas de cizalla de carácter regional desarrolladas en las sucesivas fases de deformación de la orogenia hercínica. La deposición de los cuarzos más precoces, rellenando, en general, estructuras conjugadas relativamente pequeñas, sucede en las últimas etapas de deformación (D3 a D4) y constituyen el soporte principal para mineralizaciones posteriores.

Las heterogeneidades reológicas (diques graníticos encajados en formaciones metamórficas, filones de cuarzo en granitos) tienen un efecto específico y favorable sobre la intensidad de la permeabilidad.

La formación de las trampas auríferas más eficientes está ligada a la intensa microfracturación de los cuerpos de cuarzo, que se produce en las etapas más tardías de deformación frágil.

No existe evidencia clara de preconcentración de oro en relación con las múltiples etapas de formación de los filones de cuarzo.

En la mayor parte de los depósitos el oro ha sido observado principalmente como oro nativo en las últimas fases de mineralización, asociado a paragénesis y elementos específicos. La asociación Bi-Cu-Pb-(Sb) es una de las más significativas.

Se pueden distinguir tres etapas sucesivas en la formación de los filones de cuarzo con mineralización aurífera, aquí estudiados:

- *Etapas temprana:* Se forman las primeras estructuras, en relación con zonas de cizalla regional, posteriormente a la fase de deformación dúctil y episodios de alteración que afectan a los granitos encajantes. Se deposita el primer cuarzo y los pri-

Area	Tipo inclusión	TfCO ₂	ThCO ₂	TfH	Tfcl	Salinidad	TH
Corcoesto	Lc-w Vc-w	-60,5/-57,1	9/30,3		4/11	7,8% p.e. NaCl	280/390
	Vw-c Lw-c	-63/-57		-6/-1	6/15		280/400
	Lw1			-24/-12		2,9% p.e. NaCl	150/350
	Lw2					12/24% p.e. NaCl	100/150
Tomiño	L(c-m)-w	-60,5/-56,6	-16/14	-2,0/-6,1	8/14		300/320
	V(c-m)-w						
	Lc-w Vc-w	-65,5/-60,5	4/30	-4,5/-0,2	4/12	3,7% p.e. NaCl	220/420
	Lw(NS)			-3,5/-0,1		0,2/0,9% p.e. NaCl	130/240
Penedono	Lc-w	-61,5/-57,5	7/11		5/11	0,2,9% p.e. NaCl	300/420
	Vc-w	-62/-60	7/17				280/380
	Lw-c	-62/-59,5		-14/-2	8/12	<0,7% p.e. NaCl	100/340
	Lw(N40-50E)						140/200
Pino	Lc-w	-59,5/-57	17/29		7/9	6,5/9% p.e. NaCl	320/340
	Lw-c			-9/-1	4/10	9% p.e. NaCl	220/380
	Lw(episienitas)			-4/-1		6,5/3,3% p.e. NaCl	140/300
	Lw(Q-granito)						140/240

Fig. 6.- Resumen de datos de microtermometría para los diferentes tipos de inclusiones fluidas. TfCO₂: temperatura de fusión de CO₂; ThCO₂: temperatura de homogeneización de CO₂; TfH: temperatura de fusión de hielo; Tfcl: temperatura de fusión de clatrato; TH: temperatura de homogeneización global.

meros sulfuros (pirita, pirrotina, arsenopirita) sin evidencia clara de deposición de oro.

- *Etapas intermedia:* Reactivación tectónica que conduce a la brechificación del cuarzo y de los sulfuros precoces dando lugar a los cuerpos de cuarzo sacaroideo portadores de posteriores mineralizaciones, depositándose nuevos sulfuros con oro.

- *Etapas tardía:* Renovación de la reactivación tectónica (generalmente bajo un régimen compresivo con un cambio en la dirección de los esfuerzos) que da lugar a una importante microfisuración del cuarzo y los sulfuros y en ella se produce la principal deposición aurífera. El oro nativo, juntamente con sulfuros y sulfosales, se depositan en microfisuras, especialmente cuando cortan sulfuros precoces.

Para llegar a formarse un depósito aurífero del tipo de los aquí tratados, entre otras condiciones, es importante la existencia de una actividad tectónica, con una historia de microfracturación y percolación prolongada en el tiempo, y la permanencia de un flujo de calor (intrusión de granitos tardíos, inyección magmática o flujos térmicos anómalos a lo largo de zonas de cizalla o lineamientos mayores).

REFERENCIAS

CASTROVIEJO, R. (1990): *Gold ores related to shear zones, West Santa Comba-Fervenza. Area (Galicia, NW Spain): A mineralogical study.* Mineralium Deposita, s42-s52.

CATHELINEAU, M.; BOIRON, M.C.; GARCIA PALOMERO, F.; URBANO, R.; FLORIDO, P.; PEREIRA, E.S.; NORONHA, F.; BARRIGA, F.; MATHEUS, A.; YARDLEY, B. y BANKS, D. (1993):

Multidisciplinary studies of Au-vein formation. Application to the Western part of the Hesperian Massif (Spain-Portugal). Project Nº MA2M-CT90-0033. Multiannual R&D Programme (1990-1992) on "Primary raw materials and recycling of non-ferrous metals" . C.E.C.

COURRIOUX, C., GAGNY, C. y GOUANVIC, Y. (1986): *Analyse de structures cisailantes dans des granites syntectoniques de Galice (NW Espagne).* Boletín Geológico y Minero. T. XCVII-VI (737-756).

ESSARRAJ, S. (1992): *Migration fluides, microfissuration et conditions de dépôt de l'or dans les veins de quartz arifères.* Tesis INPL Nancy, 399 p.

FERREIRA, N.; IGLESIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, E. y RIBEIRO, A. (1987): *Granitoides da Zona Centro Iberica e seu enquadramento geodinamico.* Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico. Libro homenaje a L. C. García de Figuerola. Ed. Rueda, Madrid.

GONZALEZ-CLAVIJO, E.; ORTEGA, C.; FLORIDO, P. y LOCUTURA, J. (1994): *El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España).* Boletín Geológico y Minero. ITGE. Vol. 105-2, 178-189.

GOUANVIC, Y. ; COURRIOUX, G. y OVEJERO, G. (1981): *Controle structural de la repartition des indices d'or filoniens du nord-ouest de la Peninsule Iberique.* Cuadernos Geología Ibérica. Vol. 7. Pp. 353-367. Madrid.

GUTIERREZ-CLAVEROL, M.; MARTINEZ GARCIA, E.; LUQUE, C.; SUAREZ, V. y RUIZ, F. (1991): *Gold deposits, late Hercynian tectonics and magmatism in the northwestern Iberian Massif (NW Spain).* Chronique de la recherche minier. Nº 503.

IGLESIAS, M. y CHOUKROUNE, P. (1980): *Shear zones in the Iberian Arc.* Journal of Structural Geology, Vol. 2, pp 63-68.

TOYOS, J.M. (1995): *Estructura y mineralizaciones auríferas en el área de Tomiño (Pontevedra).* Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.

URBANO, R.; TOYOS, J.M. y ASENSIO, B. (1992): *Mineralizaciones auríferas filonianas intragraníticas en el área de Tomiño (Pontevedra).* Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña. Vol. 17, 341-348.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

GEOLOGIA

LOS YACIMIENTOS DE ORO-COBRE DEL CINTURON DEL RIO NARCEA, ASTURIAS, ESPAÑA.

Por A. MARTIN-IZARD (*), M. A. CEPEDAL (*), M. FUERTES-FUENTE (*), R. REGUILON (**), L. RODRIGUEZ-PEVIDA (***), E. SPIERING (***), S. GONZALEZ (***), A. VARELA (***), C. MALDONADO (***), y LL. BOIXET (***)

R E S U M E N

La intrusión de diferentes cuerpos de rocas ígneas en las calizas y dolomías del Cámbrico y el Siluro-Devónico de la Zona Cantábrica del Macizo Ibérico da lugar a la formación de skarns cálcicos y magnésicos de cobre-oro a los que se sobreimponen mineralizaciones epitermales que los alteran. De acuerdo con los datos geológicos y geoquímicos, las dataciones K/Ar efectuadas hasta el momento sugieren que los yacimientos se formaron por la sobreimposición de varios procesos hidrotermales superpuestos. Asociada a la alteración retrograda del skarn (306±5Ma) se encuentra una primera mineralización de Cu-Au caracterizada por una paragénesis metálica constituida por magnetita, lollingita, arsenopirita, calcopirita, pirita, pirrotina, con electrum, bismuto, bismutina, witichenita, mackinstyrita, cobaltina y gedorsfita. Esta alteración retrograda de los skarns también afecta a los diferentes cuerpos ígneos, donde aparece asociada a venas de cuarzo y carbonatos con arsenopirita. Tras un proceso de erosión generalizado, la reactivación de las fracturas NE facilita el emplazamiento de rocas porfídicas (285±7Ma) y diabásicas (255±5Ma) que dan lugar a alteraciones hidrotermales de baja temperatura que afectan tanto a las rocas ígneas como a los skarn. Estos procesos epitermales tardíos tienen carácter oxidante y se caracterizan por ir asociados a venas de cuarzo-carbonato-adularia con jaspes y brechas jaseroideas y una mineralización epitermal de oro.

El estudio de inclusiones fluidas en el yacimiento de El Valle muestra un primer fluido de origen magmático caracterizado por su alta salinidad y con temperaturas de homogeneización comprendidas entre 580 y 620°C. Este primer fluido evoluciona hacia dos fluidos inmiscibles, uno rico en CO2 y/o CH4 y el otro un fluido acuoso de alta salinidad. Evidencias de este proceso de inmiscibilidad se han encontrado a temperaturas comprendidas entre 360 y 420 °C y entorno a 1 Kb de presión. Esta etapa es la que está posiblemente relaciona con la formación de las paragénesis metálicas del skarn. Este fluido evoluciona hacia un fluido acuoso de baja salinidad con temperaturas de homogeneización comprendidas entre 270 y 360°C. Relacionado con la intrusión de las rocas porfídicas y diabásicas se diferencian dos etapas hidrotermales. Las inclusiones fluidas ponen de manifiesto la existencia de fluidos epitermales acuosos de muy baja salinidad y temperaturas de homogeneización comprendidas entre 180 y 195°C y 120 y 160°C, que alteran los skarn. Finalmente, las alteraciones meteóricas producen una nueva oxidación a favor de brechas y fracturas.

Datos preliminares de isótopos de carbono y oxígeno del área de Boinás indican la existencia de dos tipos de fluidos hidrotermales. El primero de ellos estaría relacionado con la evolución del fluido que da lugar al skarn y retroskarn en la Formación Láncara. El otro es un fluido hidrotermal tardío no relacionado directamente con la formación del skarn. La composición isotópica del azufre también muestra una evolución desde valores ligeramente negativos durante los primeros estadios, a ligeramente positivos y positivos durante los últimos procesos hidrotermales.

Palabras clave: Skarn, Cobre, Oro, Geocronología, Isótopos estables, Inclusiones fluidas, Modelización de Yacimiento, Asturias.

A B S T R A C T

Intrusion of several igneous rock types in limestones and dolostones of Cambrian and Siluro-devonian age within the Cantabrian Zone of the Iberian Massif resulted in the formation of calcic and magnesian copper-gold exoskarn systems and late

(*) Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. 33005 Oviedo, España.
(**) Departamento de Geología. Universidad de Salamanca 37008 Salamanca, España.
(***) Río Narcea Gold Mines. Avda. de Llaniello, 13, B, 1.º. 33860, Salas, Asturias, España.

epithermal mineralization as an overprint to skarns. Along with geological and geochemical data, preliminary K/Ar ages suggest that the ore deposits was formed by overprinting of several hydrothermal events. Copper-gold mineralization is associated to retrograde alteration of the magnesian and calcic skarn (306 ± 5 Ma), which is characterized by a metallic paragenesis consisting of magnetite, loellingite, arsenopyrite, chalcopyrite, bornite, pyrrhotite, with electrum, bismuthinit and wittichenite inclusions, and minor mackinstryite, cobaltite and gersdorffite. The retrograde alteration also affects the monzogranite and appears along quartz veins with carbonate and arsenopyrite. After extensive erosion, reactivation of a northeast-trending fracture zone provided conduits for the subsequent emplacement of porphyritic (285 ± 4 Ma) and diabasic (255 ± 5 Ma) dikes and low temperature hydrothermal alteration that crosscut both the igneous rocks and the skarns. The later events are characterized by the development of quartz/calcite/adularia veins and breccia veins, oxidized jasperoid and jasperoid breccias with epithermal gold mineralization.

The fluid inclusions study shows a highly-saline magmatic fluid with homogenization temperatures between 580° and 620°C . This fluid evolved into two immiscible fluids: one CO_2 and/or CH_4 rich and the other a high salinity aqueous fluid. Evidence of immiscibility processes has been found at temperatures between 360 and 420°C and around 1 Kbar of pressure. These processes could be related to the main sulfide mineralization stage. This fluid evolved into a very low salinity aqueous fluid with Th ranging from 270 to 360°C . Related to the intrusion of porphyritic to diabasic dikes at least two hydrothermal events took place. The fluid inclusion study shows a very low salinity aqueous fluid with lower Th (180° to 195°C and 120° to 165°C) suggesting late epithermal events overprinting on the mesothermal skarns. Lastly, meteoric alteration produced a new generation of oxidation along fractures and breccias.

Preliminary data from Carbon and Oxygen isotopic composition from Boinás area point out two types of hydrothermal fluids. The first one show an evolution from prograde skarn to retroskarn to Lancara limestone. The other one is a different late hydrothermal fluid, not related directly with skarn formation. Sulfur isotopic composition also show an evolution from slightly negative values for the first stages to slightly positive and positive during late hydrothermal process.

Key words: Skarn, Copper, Gold, Geochronology, Stable Isotopes, Fluid inclusions, Ore Deposit Modeling, Asturias.

INTRODUCCION

En la denominada Zona Cantábrica del Macizo Ibérico, situada en el Norte de la península Ibérica, se localizan numerosos indicios y yacimientos auríferos como son los de Carracedo-Estalaya o Infiesto, y entre los que destaca, por su actual importancia económica, el denominado Cinturón del Río Narcea. Se trata de una estrecha franja de hasta 750 metros de ancho y que se extiende cerca de 45 Km (Figura 1) a lo largo del límite oeste de la zona Cantábrica. Estas mineralizaciones ya fueron explotadas para oro durante la época romana, pero no fue hasta 1988 cuando Anglo American Company (AAC) comenzó de nuevo la exploración de oro en la zona. En 1991, Concord continuó los trabajos de prospección e inició una investigación sistemática para formar en 1994, con Hullas de Coto Cortés, una sociedad denominada Río Narcea Gold Mines (RNGM) que continúa la exploración de metales preciosos en la región. De esta forma, en Noviembre de 1997, se habían definido unas reservas geológicas de 21 millones de toneladas con un contenido en Au de 3.86g/t con 10.9g/t de Ag y un 0.39% de Cu, lo que hacen unas reservas de 2.600.000 onzas de oro.

ENCUADRE GEOLOGICO REGIONAL

El cinturón aurífero del Río Narcea esta localizado en el Macizo Hercínico Ibérico, y dentro de él en la denominada Zona Cantábrica (JULIVERT et al, 1972), que constituye el núcleo Paleozoico plegado y cabalgado del arco Ibero-Armonicano (PEREZ ESTAUN, 1990; PEREZ ESTAUN y BASTIDA, 1990).

La estructura de la Zona Cantábrica esta caracterizada por su geometría "Thin-Skined" complicada por su forma de arco. Fue cabalgada, plegada y fallada durante la Orogenia Hercínica. La deformación tuvo lugar prácticamente sin metamorfismo ni desarrollo de esquistosidad (PEREZ ESTAUN, 1990). El Macizo Ibérico esta cortado por varios sistemas de fractura de carácter regional entre los que destacan el NE-SO; E-O y NO-SE, y todos ellos tienen una larga historia de movimientos.

En el dominio de la zona cantábrica, la actividad ígnea es escasa pero importante (CORRETGE y SUAREZ, 1990;), sobre todo desde el punto de vista de los yacimientos. Esta actividad ígnea se manifiesta en forma de numerosos stocks posci-

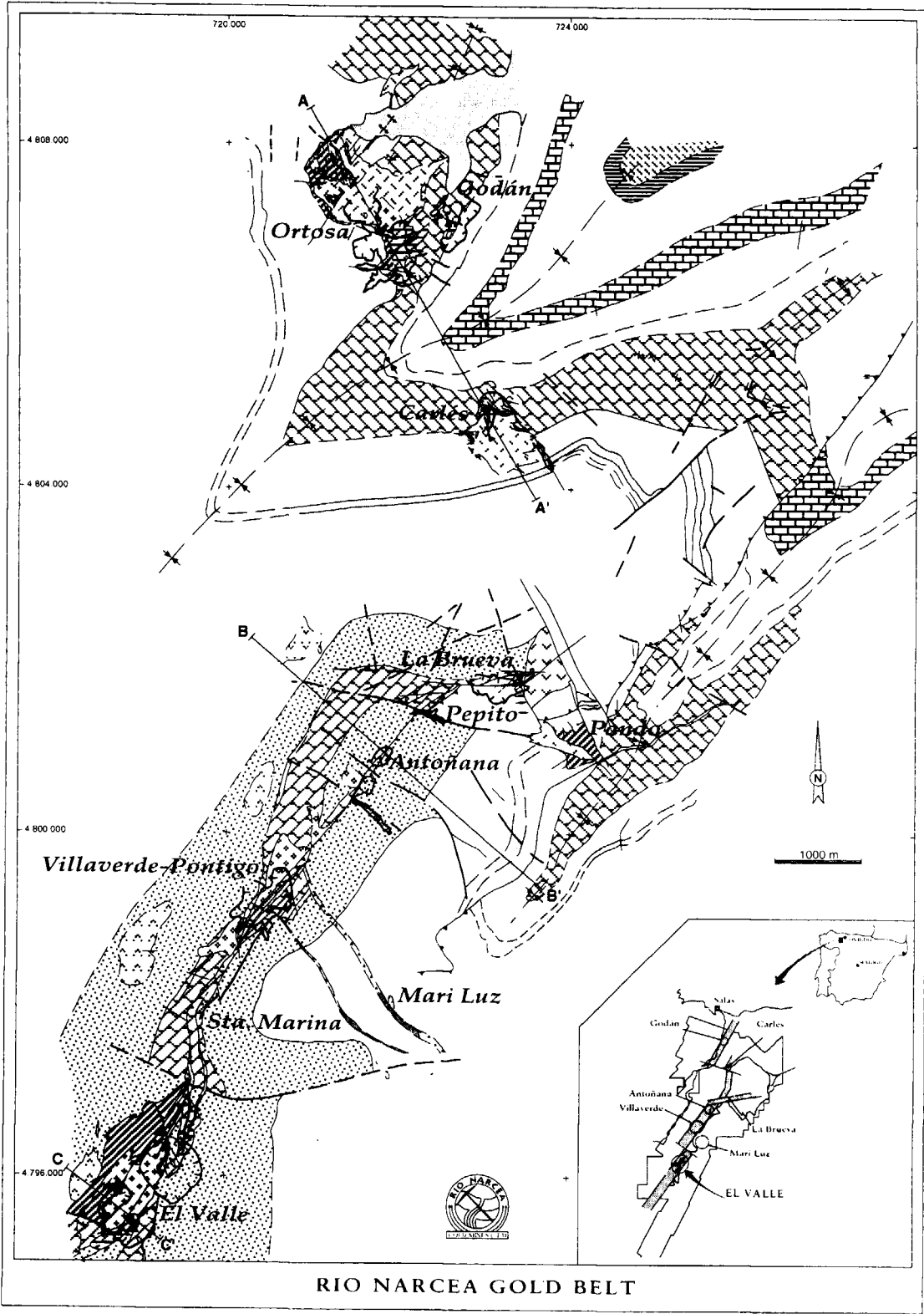


Figura 1. Mapa geológico del Cinturón del Río Narcea con la localización de los principales intrusivos.

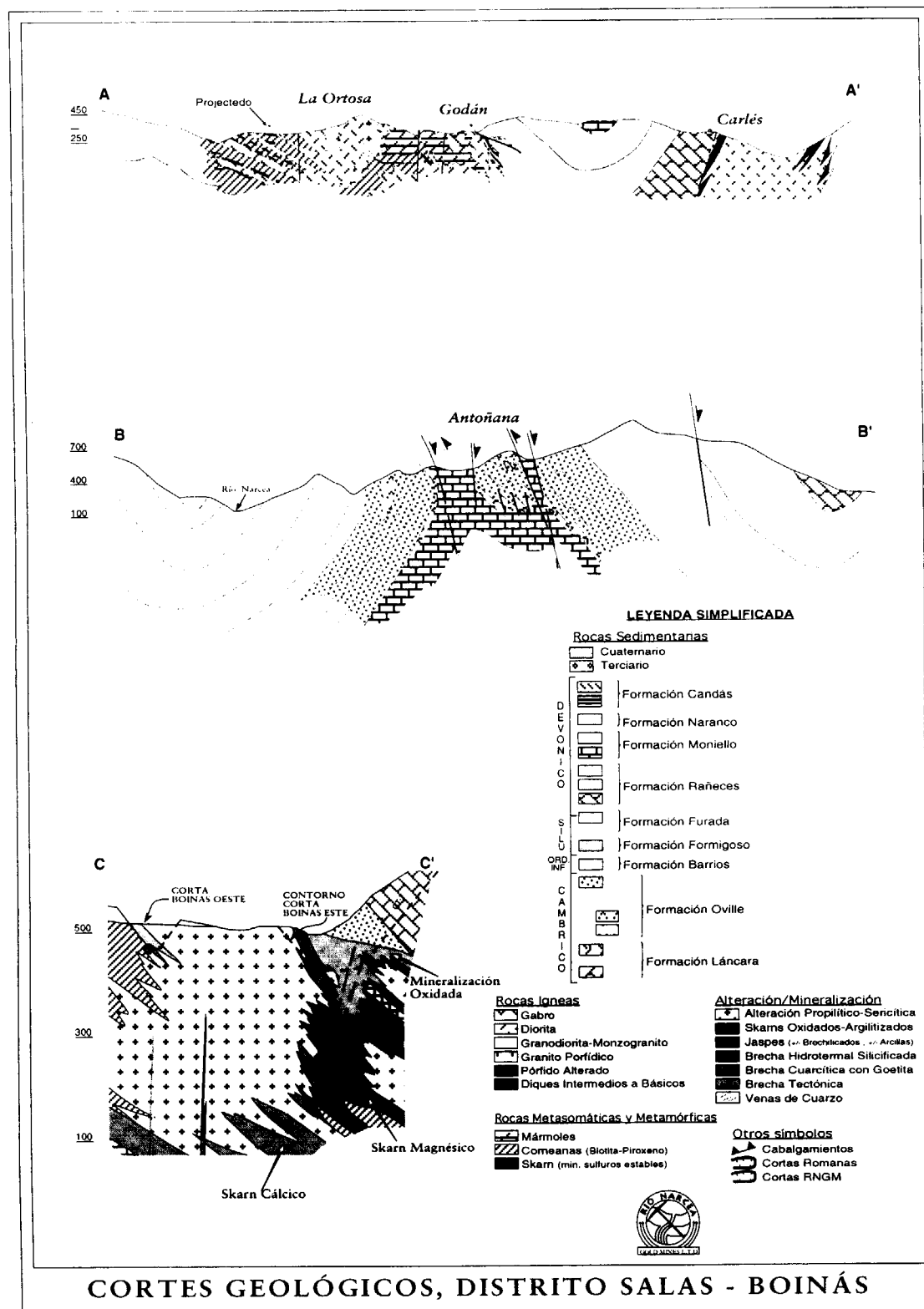


Figura 2. Cortes geológicos señalados en la figura 1.

nemáticos de pequeño tamaño y que se pueden agrupar en dos áreas, la del norte de Palencia y la de Salas-Belmonte. Las rocas plutónicas varían desde gabros y leucogabros a granitos.

GEOLOGIA DEL CINTURON DEL RIO NARCEA

La geología del área y la localización de los diferentes cuerpos intrusivos se muestra en la Fig. 1. El cinturón aurífero del Río Narcea se localiza en el sector occidental de la denominada Unidad de Somiedo-Correcilla, que forma parte del manto de Somiedo, el cual está en contacto con el anti-forme del Narcea, que a su vez constituye el límite occidental de la ZC.

Las formaciones geológicas reconocidas en la Unidad de Somiedo-Correcilla y que afloran a lo largo del cinturón del Río Narcea son todas ellas de edad paleozoica y van desde el Cámbrico al Carbonífero Inferior. Desde el punto de vista de los yacimientos aquí estudiados, resultan de especial importancia la Formación carbonatada de Láncara (Cámbrica) con dos unidades, una inferior dolomítica y rica en materia orgánica, y una superior caliza (ZAMARREÑO, 1972), y los carbonatos del techo de Furada (Silúrico) en su transición a las Calizas de Nieva que forman el muro del grupo Rañeces (Devónico). Estas facies sedimentarias tienen un importante control litológico y estratigráfico sobre la formación de los skarns.

Las rocas del área forman una estructura sinclinal y anticlinal, de dirección aproximada SO-NE y denominadas respectivamente de Soto de los Infantes y de la Sierra del Courío. Su longitud de onda es de unos 3 Km. Estas rocas están afectadas por dos sistemas de fractura de carácter destrógiro y de direcciones NE-SO y ONO-ESE. Además de las fallas que forman parte de la estructura interna de cada unidad, se desarrollan varios sistemas de fractura tardihercínicos entre los que destacan dos sistemas diestros E-O y NE-SO y el conjugado con este último de dirección NO-SE. Todos estos sistemas de fracturación tienen varias fases de reactivación, siendo alpina la más reciente de forma que, en relación con las fracturas NO-SE la serie paleozoica se sitúa sobre los terciarios.

Desde un punto de vista estructural, la mayor parte de los intrusivos del área parecen estar relacionados con fallas, lineaciones geológicas o estructuras anticlinales y sinclinales (CORRETGE & SUAREZ, 1990; GUTIERREZ-CLAVEROL et al, 1988; JAHODA, 1989). Los procesos distensivos hercínicos generan principalmente dos conjuntos de fracturas, NS, NNO-SSE y su sistema conjugado NNE-SSO, que van de subverticales a tener buzamientos de 45° al Sur, y controlan los emplazamientos de los intrusivos. Por otro lado, los cuerpos intrusivos de la Brueva, Carlés, Godán y Ortosa se alinean a lo largo de una estructura de dirección NNO-SSE, y que puede corresponder a este sistema de fracturas. Posteriormente, se emplazaron varios diques de texturas porfídicas y diabásicas con direcciones NE-SO y verticalizados, que cortan todas las litologías citadas previamente y con los que se pueden relacionar algunos de los procesos de alteración-mineralización del área.

LAS ROCAS IGNEAS

A lo largo del Cinturón del Río Narcea afloran 6 cuerpos intrusivos y dos diques graníticos encajados en las formaciones paleozoicas. La mayor parte de los intrusivos encajan en las formaciones carbonatadas del Cámbrico (Láncara) y del techo del Silúrico y base del Devónico (Furada-Rañeces), desarrollando skarns en los contactos con estas litologías. La mayor parte de las rocas plutónicas del área fueron definidas (CORRETGE et al, 1970; CORRETGE & SUAREZ, 1990; SUAREZ & CORRETGE, 1989) fundamentalmente como gabro-dioritas, más abundantes, y granodioritas, separando de este conjunto el que denominan granito biotítico de Boinás.

Desde el punto de vista de las mineralizaciones asociadas destacan, por el conocimiento que hasta el momento se tiene de ellos, el intrusivo de Boinás, encajado en Láncara-Oville y donde se sitúa el yacimiento de El Valle, y Carlés, Godán y Ortosa, encajados en Furada-Rañeces. Estos últimos llevan asociadas las mineralizaciones que reciben los mismos nombres. Por lo que respecta a los plutones de Boinás, Carlés, Godán y Ortosa, los tres primeros por sus características son similares, mientras que el de Ortosa es diferente a los anteriores.

Desde un punto de vista mineralógico, Boinás es un granito en sentido estricto constituido por plagioclasas zonadas, feldespato potásico, biotita, cuarzo y como minerales accesorios circón, apatito y rutilo. El intrusivo de Godán es un monzogranito con una textura que varía de seriada a subporfídica. Está formado por plagioclase zonada, biotita, cuarzo, feldespato potásico y, en menor proporción, hornblenda, y como minerales accesorios hay circón, rutilo y apatito. El plutón de Carlés es un monzogranito equigranular formado por plagioclase zonada, biotita, cuarzo y, en menor proporción, feldespato potásico. Como minerales accesorios hay hornblenda, circón, rutilo, ilmenita, titanita y apatito.

En la zona de Ortosa se han distinguido dos rocas que se han interpretado como facies diferentes de un mismo plutón, aunque pudieran tratarse de dos intrusivos. En un caso se trata de una cuarzo-diorita y está formada mayoritariamente por plagioclase zonada y, en menor proporción, clinopiroxeno (augita), biotita, anfíbol, cuarzo y feldespato potásico. Los minerales accesorios son ortopiroxeno, apatito, rutilo e ilmenita. La otra facies o posible intrusivo es un monzogranito, con una textura que varía de seriada a equigranular. Está formado por plagioclase zonada, biotita, cuarzo, y, en menor proporción, feldespato potásico y hornblenda, y como minerales accesorios están circón, rutilo y apatito.

A escala de los cuerpos intrusivos, especialmente bien conocido en el de Carlés (MARTIN-IZARD et al, 1994; BOIXET, 1993) y Boinás (MARTIN-IZARD et al, 1997) por la gran cantidad de datos que hay de ellos, se observa como la roca ígnea hace intrusión de forma preferencial a lo largo de las estructuras NNO-SSE y NNE-SSO. La intrusión de las rocas ígneas también está controlada por factores estratigráficos, de forma que se efectúa de manera preferencial a lo largo de los planos de estratificación. En el caso particular de los cuerpos intrusivos de Villaverde y especialmente de Boinás, el contacto entre Lánacara y Oville ejerce un importante control estratigráfico sobre la geometría del granito. Por lo que respecta a Carlés, Godán y quizás en parte Ortosa, estos adquieren un especial desarrollo en el entorno del contacto entre la formación Furada y el grupo Rañeces, por lo que este contacto estratigráfico

parece muy favorable para el emplazamiento de los intrusivos.

La geometría de los intrusivos está especialmente bien conocida en los casos de Boinás y Carlés. Las rocas ígneas al penetrar en el encajante a favor, en primera instancia, de fracturas, lo hacen a modo de protuberancias. Sin embargo, a partir de estas protuberancias, controladas por la fracturación, intruyen en el encajante a favor de planos de estratificación a modo de abeto o lacólito múltiple. Estas digitaciones-cuña pueden alcanzar la centena de metros de longitud, y hasta 40 metros de potencia.

Durante la realización de los sondeos de reconocimiento y cubicación del yacimiento de El Valle en el intrusivo de Boinás, y sobre todo, durante las labores de puesta en funcionamiento de la mina, se localizaron una serie de diques, no reconocidos en superficie, de rocas porfídicas de carácter subvolcánico que cortaban tanto a los granitos como a los skarns formados en su entorno y a las rocas sedimentarias. Estos diques son de potencia variable, desde unos pocos centímetros hasta algo más de un metro, producen una intensa silicificación del encajante, que es mayor cuanto más cerca de la superficie y en muchas ocasiones es de mayor potencia que el propio dique. Se caracterizan por estar constituidos por cuarzos globulosos muy corroidos en una roca totalmente sericitizada en la que se reconocen formas (fantasmas) de feldespatos y micas. También se localizan en la zona algunos diques subporfídicos de diabasa-andesita que cortan todas las litologías citadas previamente. Estos diques están con frecuencia intensamente carbonatizados y parcialmente sericitizados.

Desde un punto de vista geoquímico, a partir de los datos geoquímicos preliminares (FUERTES-FUENTE et al, 1998) y los aquí obtenidos (Tabla 1) para los elementos mayores, se ha elaborado la norma CIPW. Teniendo en cuenta todos estos valores, se han realizado los diagramas de Streckeisen (Fig. 3), potasio frente a sílice (Fig. 4), y de los índices ACNK frente a ANK (Fig. 5). Los resultados obtenidos se pueden sintetizar de la siguiente manera, los intrusivos de Boinás, Carlés y Godán son monzogranitos, todos ellos próximos al límite con las granodioritas (Fig. 3). Sin embargo, los valores del intrusivo de Ortosa

Elemento	BOINAS							CARLES		GODAN	ORTOSA
	Facies Equigranular			Facies Porfídicas							
Si ₂	63,7	63,4	60,6	67,0	67,1	68,1	68,0	65,6	66,3	64,1	55,5
A ₂ O ₃	16,2	17,0	17,2	15,6	15,4	15,3	14,0	15,9	15,6	15,7	17,6
Fe	3,8	4,4	5,4	3,5	3,1	2,9	2,2	3,8	3,3	3,8	6,8
F ₂ O ₃	1,3	1,0	1,2	0,5	0,6	0,9	1,1	0,6	0,8	0,9	1,5
Mn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Mg	1,6	1,6	2,0	1,3	1,1	1,1	0,9	2,1	1,8	2,6	4,6
Ca	3,6	3,7	3,7	3,4	3,0	2,9	3,1	3,5	3,5	3,8	7,1
N ₂ O	3,0	3,2	3,1	3,0	2,9	2,9	2,5	2,9	2,9	2,9	2,4
K ₂ O	5,0	4,1	4,9	4,3	4,8	4,7	5,1	4,0	4,0	4,0	1,9
Ti ₂	0,7	0,6	0,9	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,7	1,2
P ₂ O ₅	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
L.O.I	0,9	0,9	1,1	1,2	1,0	0,9	2,1	1,2	1,2	1,6	1,1
Total	100,6	100,7	100,8	100,82	100,0	100,8	99,9	100,9	100,6	100,6	100,5
Ba	93	95	105	48	54	57	54	71	72	70	42
Rb	19	16	18	21	21	21	24	12	13	13	5
Sr	30	32	34	27	27	30	25	32	32	36	48
Zr	23	21	27	19	18	19	17	17	19	20	10
As	18	n.d	n.d	2	5	3	135	1	13	n.d	n.d
Bi	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	0,1	0,0
Cu	3	2	n.d	1	1	1	3	n.d	3	1	n.d
Pb	2	2	1	2	2	2	1	2	3	1	2
Zn	4	5	5	3	4	4	3	1	n.d	1	n.d
W	2	8	1	1	3	1	12	1	1	7	5
Mo	1	2	3	8	4	3	1	2	2	2	1
Sn	0,9	2	1	3	4	2	3	2	2	1	1
Th	11	11	19	19	19	10	11	18	19	19	7,1

Tabla 1. Contenido químico en elementos mayores y trazas de algunos granitos del Cinturón de Río Narcea.

se proyectan en otro campo diferente y claramente separado de los anteriores, tratándose de una cuarzo-monzodiorita. Por otro lado, se trata de rocas con un alto contenido en potasio excepto Ortosa (Fig. 5). Todas ellas son rocas de metaluminosas a peraluminosas, proyectándose todos los valores en el entorno de este límite (Fig. 5), destacando por su elevadísimo índice ANK Ortosa, que se proyecta en el dominio metaluminoso pero en otra posición totalmente distinta.

Tal y como señala MEINERT (1983), hay una relación sistemática entre la petrogénesis de la roca ígnea y la mineralogía y tipología del skarn. En este sentido, MEINERT (1983, 1993), RAY et al (1988) y RAY & WEBSTER (1990), proponen una

serie de diagramas basándose en la geoquímica de algunos elementos mayores de la roca ígnea, que permiten diferenciar distintos tipos de skarn fijándose principalmente en el elemento económicamente más importante.

Teniendo en cuenta algunos de estos diagramas (Figs. 6 y 7) los intrusivos de Boinás, Carlés y Godán proyectan todos ellos en un mismo entorno y por sus características se pueden clasificar como potencialmente formadores de skarns de Cu o Zn-Pb. Por el contrario, los datos del intrusivo de ortosa se sitúan en un área completamente distinta de los anteriores, y que corresponden con las de los intrusivos potencialmente formadores de skarns de Au. Así mismo, la pro-

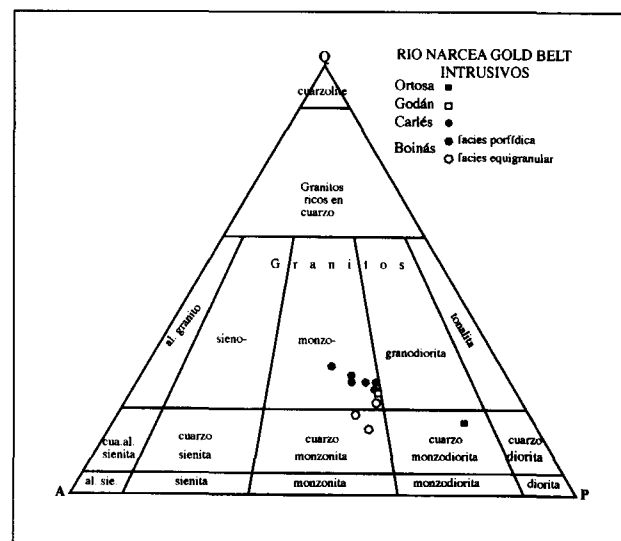


Figura 3. Diagrama de Streckeisen de clasificación geoquímica de las rocas ígneas del área.

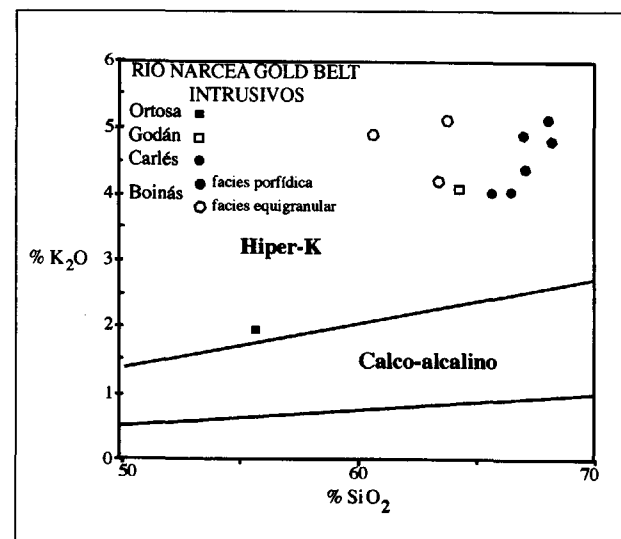


Figura 4. Diagrama K/Si. Los granitos del área son todos ellos hiperpotásicos, resultando Ortosa el de menores contenidos en ambos elementos.

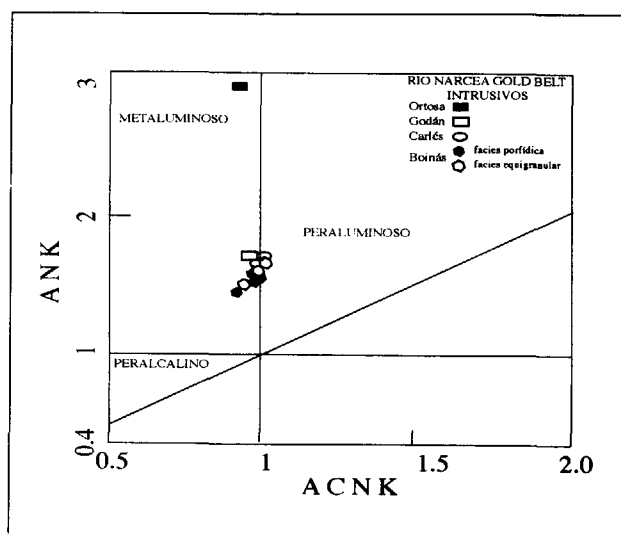


Figura 5. Diagrama ACNK-ANK de las rocas ígneas del Cinturón del Río Narcea.

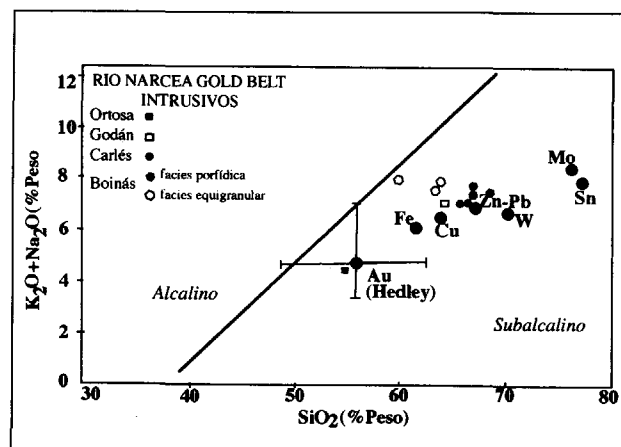


Figura 6. Diagrama sílice-álcalis mostrando la proyección de las rocas formadoras de los distintos tipos de skarns y proyección de las del Cinturón del Río Narcea.

yección del contenido en hierro total frente al hierro ferroso (Fig. 8) muestra el carácter reductor de todos estos intrusivos, lo que de acuerdo con MEINERT (1990) los hace ser potencialmente muy interesantes para el oro.

Su proyección en los diagramas de discriminación geotectónica de PEARCE et al (1984) (Figs. 9 y 10), tal y como ya indicaban CORRETGE et al

(1990), es en el campo de los granitos de arcos volcánicos (VAG).

LOS SKARNS EN EL CINTURON DEL RIO NARCEA

Básicamente, los skarns de la zona son todos ellos exoskarns (MARTIN-IZARD et al, 1993,

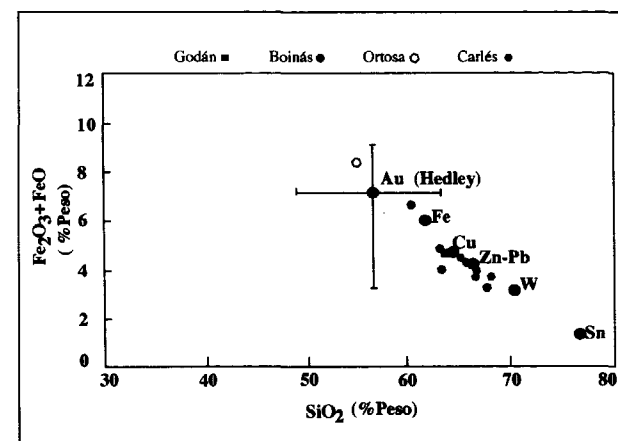


Figura 7. Diagrama sílice-hierro total mostrando la proyección de las rocas formadoras de los distintos tipos de skarns y proyección de las del Cinturón del Río Narcea.

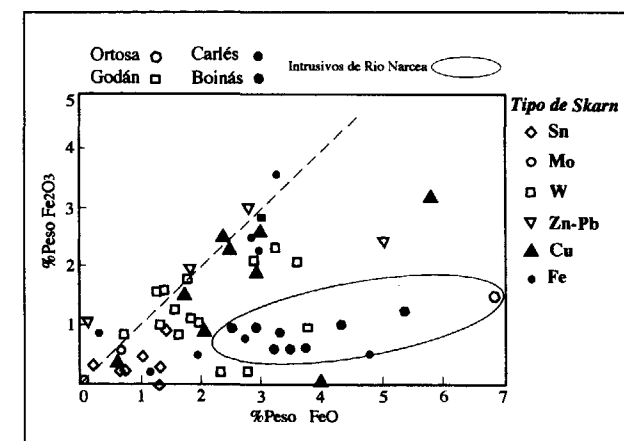


Figura 8. Diagrama hierro total frente al hierro ferroso que muestra el carácter reductor de los intrusivos del Cinturón del Río Narcea.

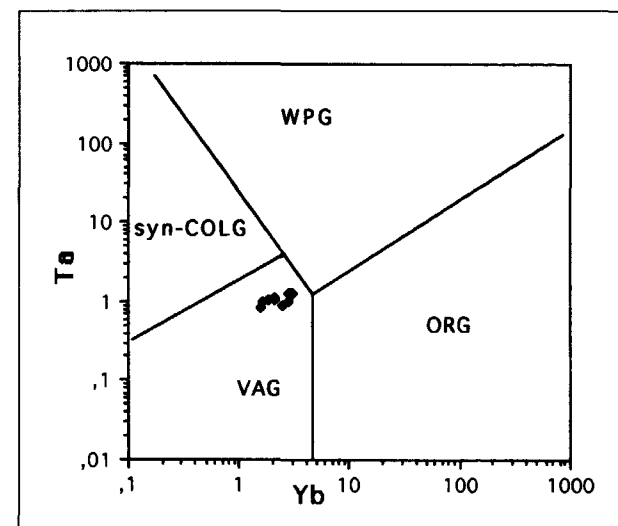


Figura 9. Diagrama Yb-Ta de discriminación de rocas ígneas por su procedencia en el que se observa como las rocas del cinturón del Río Narcea proyectan en el campo de los granitos de arco volcánico.

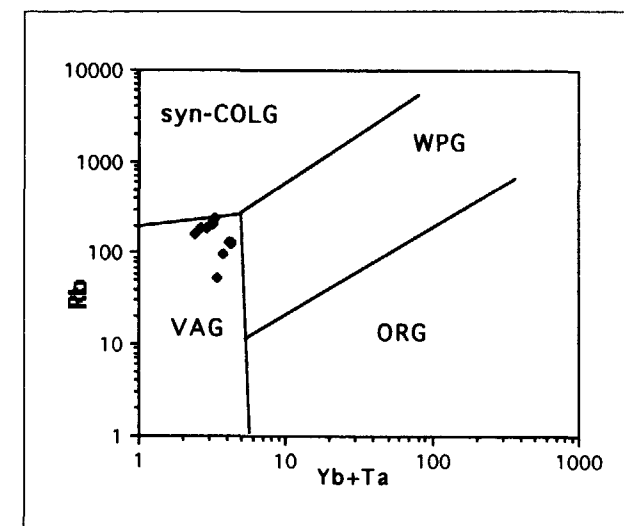


Figura 10. Diagrama Yb+Ta-Rb de discriminación de rocas ígneas por su procedencia en el que se observa como las rocas del cinturón del Río Narcea proyectan en el campo de los granitos de arco volcánico.

1995). Estos adquieren especial desarrollo en las zonas comprendidas entre el cuerpo ígneo principal y las digitaciones o entre digitaciones, lo que es especialmente evidente en el caso de Carlés. Sin embargo, fuera de estas digitaciones, el skarn se desarrolla como una envuelta alrededor del cuerpo ígneo y, en general, tiene menor potencia.

Las distintas tipologías de skarn presentes en el

cinturón están controladas por la naturaleza del encajante. Desde el punto de vista de los yacimientos son de especial interés las formaciones Láncara, Furada y Rañeces. Por lo que respecta a Láncara, y aunque en ella hacen intrusión varios cuerpos, del que por el momento se dispone de datos suficientes de su geometría, mineralización y paragénesis es del intrusivo de Boinás (MARTIN-IZARD et al, 1997). En el contacto con el

muro dolomítico y rico en materia orgánica de Láncara se forman skarns magnésicos también ricos en materia orgánica. Por el contrario, en el paquete calizo del techo de Láncara se forman fundamentalmente skarns cálcicos.

El desarrollo del skarn magnésico comienza con la formación de un skarn de forsterita de color negro (llamado skarn negro) con algo de diopsido y rico en grafito, que refleja el metamorfismo de la materia orgánica. Posteriormente, y reemplazando en parte al anterior, se desarrolla desde el monzogranito hacia afuera un skarn diopsídico que expulsa el grafito y que tiene diopsido como componente principal (llamado skarn diopsídico).

Por lo que respecta al skarn cálcico, el reemplazamiento de las calizas a favor de las juntas de estratificación da lugar a que esta estructura sedimentaria se conserve en parte de manera que el skarn resultante va a ser un skarn bandeado. El primer mineral metasomático que se forma es granate. El límite externo del granate viene marcado o por una banda de wollastonita de unos pocos metros de espesor y por mármoles, o únicamente estos últimos. Un segundo frente metasomático producido a favor de las antiguas juntas de estratificación, genera piroxeno hedembergítico el cual reemplaza o engloba a los granates y da lugar a la formación de un skarn bandeado en el que alternan lechos con granate dominante y otros con piroxeno dominante de acuerdo con la estratificación previa. En las zonas próximas al monzogranito se desarrolla una feldespatización, fundamentalmente de microclina, que con frecuencia está algo hematizada, con cristales aislados de albita y precipitación de carbonato intersticial.

Los skarns que se forman en las calizas de Rañeces son prácticamente todos ellos de tipo cálcico. Las características del exoskarn cálcico progrado en la calizas de Rañeces (BOIXET, 1993; MARTIN-IZARD et al, 1994) son muy similares a las descritas para los skarns cálcicos de la caliza cámbrica, con desarrollo de una primera etapa de granate que es reemplazado por un piroxeno posterior y, en las zonas próximas a la granodiorita se desarrolla una feldespatización que tiene las mismas características que en el caso de la caliza de Láncara.

Por lo que respecta al techo de la Formación Furada, los paquetes carbonatados que hay intercalados van a sufrir procesos de skarnificación cuando son afectados por los intrusivos. En este sentido, resultan especialmente interesantes los skarns desarrollados entre esta formación y el intrusivo denominado Ortosa, aunque también se encuentran en relación con otros intrusivos como puede ser Carlés, donde prácticamente no tienen desarrollo conocido. Se trata de skarns intercalados entre paquetes de corneanas pelíticas bandeadas y en ellos alternan niveles ricos en grosularia con otros de piroxenos de tipo diopsido.

RETROSKARNS

Ambos tipos de skarn, así como los granitos, sufren procesos de retrogradación, preferentemente a favor de una red de filones de cuarzo con algo de carbonato y de los contactos entre granate y piroxeno, que son acompañados por la precipitación de la paragénesis metálica.

Durante la retrogradación del skarn negro se forma principalmente abundante serpentina con contenidos menores de tremolita y carbonatos. Como minerales metálicos hay una precipitación de magnetita, arsenopirita y pirrotina a las que siguen abundante calcopirita, y bornita. El oro está asociado la mayor parte de las veces a esta retrogradación de skarn y muestra una relación directa con la presencia de cobre.

La retrogradación del skarn diopsídico está caracterizada por la presencia de serpentina, tremolita, feldespatos y carbonatos además de magnetita y una primera arsenopirita, a la que siguen abundante calcopirita, bornita, y pirrotina junto con contenidos menores de bismutinita y electrum a los que acompañan estromeyerita, witichenita, argentita y algodónita, que pueden verse también en fracturas y bordes de grano de la arsenopirita.

Por lo que respecta al skarn cálcico, esta etapa de alteración viene marcada por la presencia de una segunda generación de hedembergita, anfíbol (tremolita-actinolita) y un feldespato potásico tardío que se acompaña de cuarzo, epidota y carbonatos y que aparecen rellenando venas y micro-

fracturas o reemplazando a granates y piroxenos. Asociados a estos minerales y distribuidos de manera irregular se observan magnetita, arsenopirita y pirrotina, y una etapa posterior con calcopirita.

En Rañeces la formación del retroskarn tiene características diferentes en función de la posición del skarn respecto del intrusivo, siendo en el área de Carlés donde mejor conocido está. En todas las zonas, el skarn retrogrado se inicia con el reemplazamiento de los granates y piroxenos por anfíbol de tipo hornblenda, preferentemente a favor de una red de fisuras y microfracturas que afectan tanto al granito como al skarn, y un feldespato potásico tardío que se acompaña de cuarzo, epidota, vesuviana y carbonatos que aparecen rellenando venas y microfracturas o reemplazando a granates y piroxenos. En los sectores Este y Oeste de Carlés, hay una primera etapa con algo de lollingita y arsenopirita, a la que sigue otra rica en minerales de cobre (bornita-calcopirita) que se limita a las zonas anfibolitizadas. El límite externo de esta asociación lo marca un nivel rico en magnetita que a su vez marca el final de la zona anfibolitizada.

A diferencia de los otros dos sectores, a la zona de anfibolitización relacionada con la zona de fractura NNO-SSE se asocia, en este caso, molibdenita, junto con el oro, mostrando una distribución y asociación muy similar a la del cobre en los otros sectores.

Así pues, parece que hay una zonación en la mineralización, especialmente de cobre y molibdeno, precipitando el cobre con arsénico en las zonas más profundas y el molibdeno con arsénico en las elevadas, habiendo únicamente arsénico en las zonas en las que el skarn tiene poco desarrollo.

En el intrusivo de Godán, que se encuentra en una posición simétrica respecto de Carlés dentro del sinclinal de Soto de los Infantes, la roca ígnea está en relación con una de las fracturas NO-SE y parece que, cartográficamente, enlaza con la del sector norte de Carlés. Aquí, únicamente se encuentra una alteración prehnítica con molibdenita en relación con un intrusivo y un skarn fuertemente alterados. Por ello, Godán podría interpretarse como un Carlés del cual únicamente aflora su extremo más apical.

En los skarns de Furada suele haber una banda o también venas formadas por hedembergita, cuarzo, carbonato, allanita y parches de anfíbol de tipo ferroactinolita y ferrohornblenda que reemplazan parcialmente al piroxeno, y que es donde se concentran los opacos. Estos son principalmente pirrotina y localmente abundante arsenopirita, con inclusiones posteriores a favor de fracturas y huecos de calcopirita (que reemplaza a los anteriores), pirita, galena, bismuto-bismutina, hedleyita, maldonita y oro.

MINERALIZACIONES Y ALTERACIONES EPIATERMALES

Posteriormente a las etapas de retroskarn, se produce una nueva alteración retrograda, relacionada con una red de filones con cuarzo-carbonato-pirita, que han sido reconocidos en Boinás, La Brueva, Carlés y Ortosa. Por su interés económico el área mejor conocida es Boinás donde se han reconocido dos procesos. En las zonas mineralizadas se pone de manifiesto que tanto el granito como el skarn, retroskarn y todas las demás litologías han sido afectadas por, al menos, dos fases de alteración epitermal la primera de las cuales produce una intensa silicificación, además de carbonatización, argillización, sericitización y/o propilitización.

La primera de las etapas hidrotermales postskarn está caracterizada por la presencia de venas y filones de cuarzo con gran tendencia al idiomorfismo, cementados por carbonato de color blanco y acompañados de abundante pirita junto con arsenopirita, esfalerita, tetrahedrita y cantidades menores de adularia, bismuto nativo y electrum.

Esta alteración retrograda también afecta a las rocas graníticas y está en relación con venas de cuarzo y carbonato de color rosa, arsenopirita, calcopirita y algo de adularia. Esta alteración produce en la roca ígnea una intensa sericitización, silicificación y parcial carbonatización. Por lo que respecta a los skarns, las alteraciones son diferentes según se trate del skarn magnésico o del cálcico. En el primero provoca una serpentización, cloritización y parcial silicificación, mientras que en el segundo la alteración más característica es una cloritización.

En relación con estos diques de pórfidos emplazados a favor de zonas de fractura se produce una intensa silicificación y parcial carbonatación de las rocas encajantes, así como una intensa silicificación a lo largo de las fracturas y zonas de brecha que da como resultado la formación de jaspes hematíticos que pueden llevar también algún sulfuro y carbonatos, y provoca la parcial alteración de los sulfuros formados en las etapas anteriores.

En el caso de Carlés sólo se reconoce la primera de estas etapas tardías. En las áreas más profundas, las que llevan el cobre, esta alteración se manifiesta como una actinolitización poco intensa de los minerales preexistentes, así como una sericitización del monzogranito, puntualmente intensa y con carbonatización, mientras que en el sector norte, y especialmente en el entorno de las fracturas NO-SE que condicionan el emplazamiento del intrusivo, se produce una intensa prehnitización de los minerales anteriores, con una posible recristalización y/o nuevo aporte de molibdenita.

Una segunda etapa de alteración hidrotermal produce una intensa carbonatización y menor silicificación y argillización o talquización de las rocas a las que afecta.

Es de destacar que las diferentes etapas hidrotermales están caracterizadas por un incremento progresivo de la carbonatización en el tiempo, y que las últimas etapas hidrotermales tienen un carácter cada vez más oxidante que provoca una oxidación hipogénica más o menos intensa a lo largo de las fracturas.

Finalmente, y en relación con el desarrollo de los cabalgamientos alpinos, cuando estos afectan a zonas mineralizadas, se produce una removilización del oro a favor del plano de deslizamiento encontrándose concentraciones de oro de interés económico en estas zonas.

GEOCRONOLOGIA

Con el objeto de tratar de identificar cual ha sido la evolución en el tiempo de los diferentes procesos definidos en el Cinturón del Río Narcea, se han llevado a cabo dataciones K-Ar en muestras

de rocas frescas y alteradas. Partiendo de resultados previos (CEPEDAL et al, 1998) y los obtenidos hasta el momento, procedentes todos ellos del área de Boinás, y teniendo en cuenta otros existentes en la bibliografía, especialmente de Carlés, se puede establecer una posible evolución de los procesos en el tiempo. Con este objetivo se han tomado de Boinás una serie de muestras de roca frescas y alteradas relacionadas con los diferentes procesos ígneos e hidrotermales de la zona. Como rocas frescas se han tomado las dos facies del granito. Como rocas afectadas por procesos hidrotermales se han tomado muestras del granito monzonítico cortadas por venas de cuarzo equivalentes a las que generan la retrogradación del skarn, muestras de los pórfidos y de los diques andesítico-diabásicos. Así mismo, se ha realizado un análisis de roca total de una diabasa para conocer la edad mínima del último proceso observado por criterios geológicos. Los minerales que se han utilizado para efectuar las dataciones han sido, biotitas frescas del monzogranito, flogopita del skarn y sericita de las muestras alteradas. Los análisis fueron efectuados en laboratorio de K-Ar del INGEIS en Argentina por el Dr. Linares y en el Institute of Geological and Nuclear Sciences (IGNS) de Nueva Zelanda, donde se enviaron algunas muestras duplicadas de las datadas en Argentina, y con dos tamaños de grano diferentes para confirmar la calidad de las muestras, la no pérdida de Ar durante el proceso de extracción y la bondad de las dataciones.

Los resultados analíticos se muestran en la Tabla 2 y se pueden agrupar como, muestras que dan

Tabla 2.- Resultados analíticos de las dataciones K/Ar.

Muestra	Roca	Mineral	K %	K ⁴⁰ rad x 10 ⁻⁶ mol/g	Ar ⁴⁰ rad x 10 ⁻⁶ mol/g	40 Ar atm %	edad ma
B1	Granite	Biotite	7.20	21.492	41.875	16.5	308±17
B2	Granite	Biotite	7.37	21.999	42.414	32.3	305±16
F11	Skarn	Flogopita	8.00	21.997	43.886	2.0	305±6
Gr3	Alt. Gran.	Sericite	8.10	24.179	46.188	3.6	302±9
Gr1	Alt. Gran.	Sericite	4.90	14.627	26.370	16.9	286±11
PO1	Alt. Porph	Sericite	7.15	21.343	38.185	2.2	284±8
Gr2	Alt. Gran.	Sericite	8.70	25.970	42.686	2.60	263±7
PO2	Diabase	Sericite	6.68	19.988	29.822	2.0	255±5
Roca total	Diabase	---	3.00	8.955	12.923	19.00	233±10

edades de más de 300 Ma, otras con una edad entorno a los 285 Ma y un tercero con edades entorno a 260 Ma. Teniendo en cuenta que las edades K-Ar son edades mínimas, los datos son interpretados de la siguiente manera.

Las dos muestras procedentes del monzogranito dan edades de 305±6 Ma (facies porfídica) y 308±5Ma (facies equigranular), ambas dentro del error analítico y que darían una edad media de 306±5 Ma. La muestra de 305±6 es una flogopita formada durante el desarrollo del skarn. La muestra de 302±9 Ma, también dentro del error analítico de las otras dos, pertenece a una muestra de granito porfídico (facies de borde) intensamente sericitizada y sin ninguna carbonatización. La muestra fue tomada cerca de un skarn con alteración retrograda, por lo que ésta alteración de la monzogranito está probablemente causada por los mismos fluidos que provocaron la alteración del skarn. SOLE et al (1995) en dataciones sobre biotitas para el intrusivo de Carlés dan las mismas edades que las encontradas aquí por nosotros.

El siguiente grupo de edades son 286±11 y 284±8 Ma, 15 Ma posteriores. Este proceso de alteración afecta a las rocas formadas anteriormente (muestra de 286 Ma) y se relaciona con el emplazamiento y alteración de las rocas porfídicas (muestra 284 Ma). Estas rocas, que están emplazadas al mismo nivel que los granitos, muestran un aspecto subvolcánico, y por tanto mucho menos profundo, hecho que puede ser explicado por la erosión que sufrió el área entre las dos intrusiones, con el intervalo citado de 15 Ma.

Un posterior proceso de alteración podría estar relacionado con la intrusión de los diques de diabasas y andesitas de naturaleza subporfídica. Una muestra de monzogranito alterada por estos procesos tardíos da una edad de 263±7 Ma. Las edades encontradas a partir de una muestra de sericita obtenida de uno de estos diques, alterados e intensamente carbonatizados es de 255±5 Ma, que es próxima a la encontrada por MARTINEZ GARCIA et al (1994) para diques de la misma naturaleza en los Picos de Europa (240Ma).

En base a todos estos datos, en el sector de Boinás se han podido reconocer tres episodios

ígneos que llevan asociados cada uno distintos procesos hidrotermales de mineralización-alteración.

LAS INCLUSIONES FLUIDAS EN LOS SKARN DEL AREA

Hasta el momento, casi todos los trabajos de inclusiones fluidas efectuados en la zona se centran en el sector Este de Carlés, donde llevaron a cabo sus trabajos diferentes autores (RUA FIGUEROA et al, 1987; IGLESIAS & LOREDO, 1990; ARCOS et al, 1995), existiendo únicamente un trabajo de la zona de La Brueva (MESA, 1993).

Por lo que respecta a la zona de Carlés, RUA FIGUEROA et al, (1987) e IGLESIAS & LOREDO, (1990) analizan las inclusiones en cuarzos procedentes de una red de venillas y filoncillos que cortan el skarn y que están relacionados con la alteración a anfíbol y precipitación de los minerales metálicos de la paragénesis aurífera en el retroskarn.

Ellos encuentran cuatro tipos de inclusiones fluidas y sugieren una evolución hidrotermal que partiría de un fluido inicial que proponen tendría que ser acuoso con CO₂ y que evoluciona a condiciones de desmezcla creadas por una pérdida de presión y temperatura. Este hecho permite observar dos tipos de inclusiones, unas acuosas de moderada a alta salinidad y otras acuoso carbónicas de baja salinidad. En base a estos datos de inclusiones sugieren unas temperaturas de formación de 460°C y presiones de 2.2 Kb. ARCOS et al (1995), encuentran inclusiones fluidas en granates que representan el fluido inicial propuesto por RUA FIGUEROA et al, 1987 e IGLESIAS & LOREDO, 1990, llegando a las mismas conclusiones de evolución de los fluidos, pero proponiendo unas presiones de formación menores, de 1.5Kb.

Nuevos datos sobre inclusiones fluidas a propósito de estas mineralizaciones están siendo obtenidos en el área de Boinás. CEPEDAL et al (1997) y CEPEDAL et al (1998) encuentran diferentes tipos de inclusiones que permiten definir, por el momento, al menos tres procesos hidrotermales superpuestos (Figuras 11 y 12). El primero de ellos sería el que generó el metasomatismo que dio lugar a los skarn, habiéndose medido inclu-

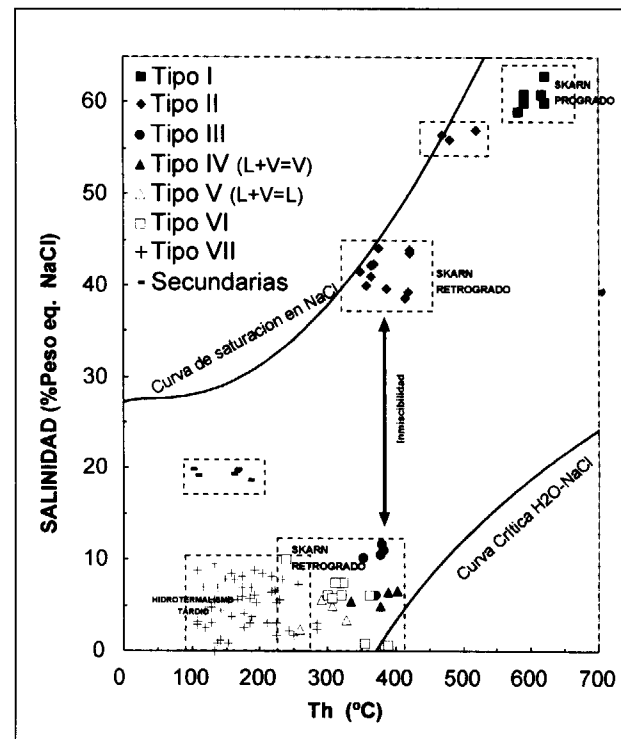


Figura 11. Diagrama de temperaturas de homogeneización frente a salinidades en el que se muestran los diferentes tipos de inclusiones medidos (CEPEDAL et al, 1998).

siones en granates y piroxenos. Posteriormente y utilizando cuarzos de la red de fracturas que generan el skarn retrógrado, se ha seguido su evolución en el tiempo durante las etapas de retroskarn. Las características de este proceso serían muy similares a las ya dadas para Carlés, comenzando por un fluido hipersalino con temperaturas de homogeneización entorno a los 600°C, que evoluciona a dos fluidos, uno salino y otro rico en volátiles con temperaturas de homogeneización superiores a los 300°C (Fig. 11). Además, en el caso de Boinás, las especiales características del skarn magnésico rico en materia orgánica, hace que se encuentren otros tipos de inclusiones constituidas mayoritariamente por CH₄. La presencia de estas inclusiones de CH₄ muy puro y de CH₄-H₂O-ClNa indican que el fluido magmático hipersalino reaccionó con la roca encajante cargándose de CH₄ y generando posteriormente, durante un proceso de desmezcla, este tipo de inclusiones. Las temperaturas de homogeneización se sitúan entorno a los 400 °C y unas presiones en el entorno o algo superiores

a 1 Kb (Fig. 12), haciéndolo tanto en fase gas como líquida como de forma crítica. Este proceso iniciaría el desarrollo del skarn retrogrado y de precipitación de sulfuros y otros minerales metálicos. Estos fluidos evolucionarían en el tiempo hacia un fluido de baja salinidad, con temperaturas de homogeneización entre 360 y 270°C y presiones inferiores a 0.4Kb (Figuras 11 y 12).

Una segunda etapa hidrotermal vendría representada por fluidos acuosos salinos de baja salinidad y temperaturas de homogeneización comprendidas entre 150 y 200°C (Figuras 11 y 12) que fueron atrapados en los cuarzos idiomórficos mencionados anteriormente y que se relacionan con el emplazamiento de los pórfidos. Esta etapa sericitiza intensamente y silicifica y carbonatiza parcialmente a las rocas graníticas, y cloritiza, silicifica y serpentiniza el skarn.

Finalmente, una tercera etapa vendría indicada por un fluido acuoso de baja salinidad y temperaturas de homogeneización comprendidas entre 100 y 150°C. Este tipo de inclusiones tiene carácter secundario en los minerales formados en las primeras etapas, mientras que tienen un carácter primario en los cuarzos formados durante las etapas tardías de alteración. Esta etapa produce una intensa carbonatización, argillización y silicificación de las litologías a las que afecta. Estas dos últimas etapas tienen un carácter oxidante, provocando, cuando les afectan, la parcial oxidación de los minerales formados en las etapas anteriores, especialmente de los sulfuros. Las características de estos fluidos serían similares a las dadas por MESA (1993) para la Brueba.

ISOTOPOS ESTABLES

Con el fin de caracterizar la procedencia y condiciones de formación de los elementos involucrados en las distintas etapas de formación de los yacimientos del Cinturón del Río Narcea, se han tomado más de 50 muestras de carbonatos, silicatos y sulfuros de las que se ha medido su composición isotópica de C, O, S y de los silicatos hidratados también se midió el D.

Las muestras tomadas lo han sido de los diferentes minerales formados en cada una de las eta-

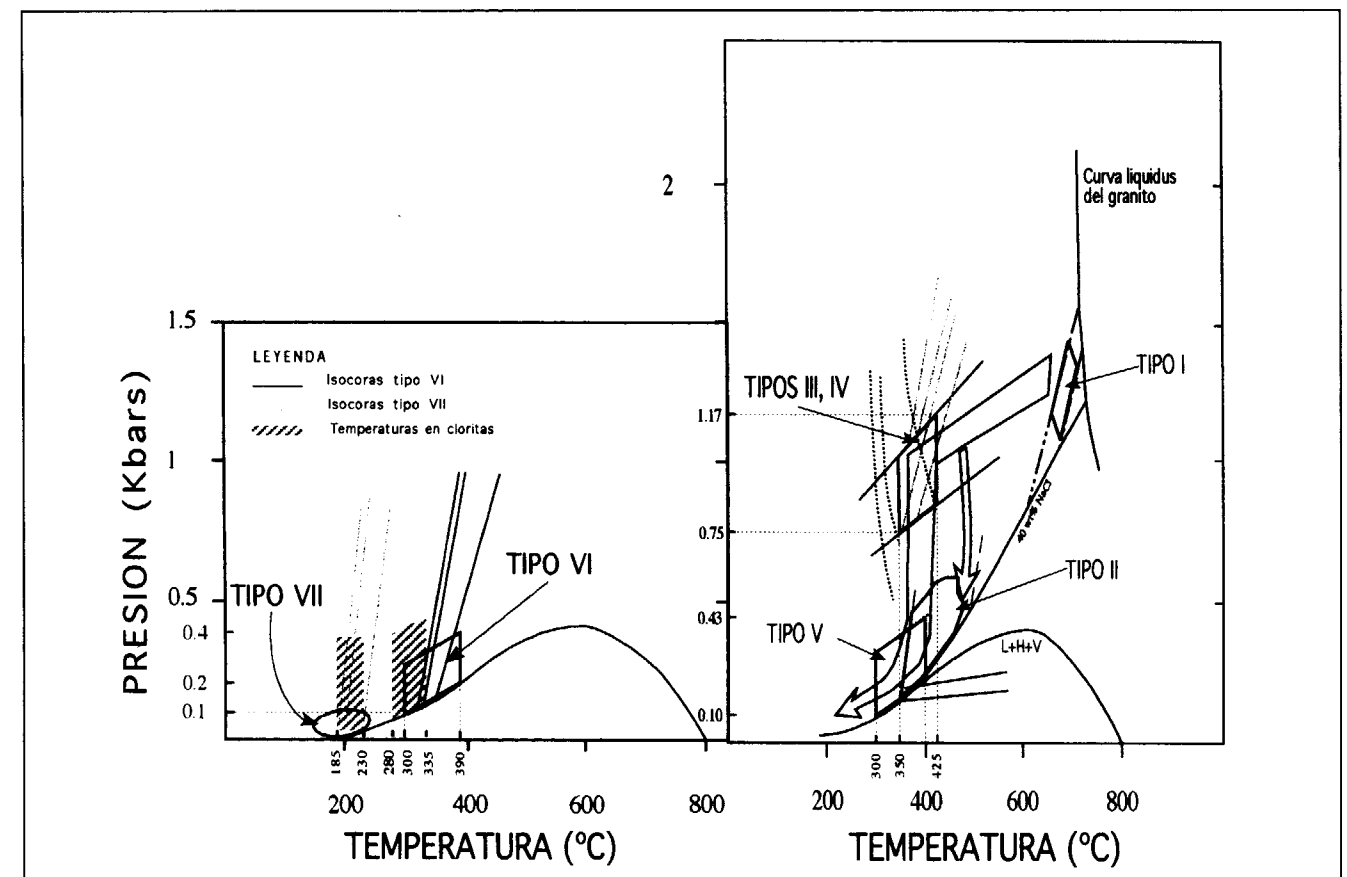


Figura 12. Diagramas presión-temperatura de los distintos fluidos encontrados en las inclusiones del Valle mostrando su posible evolución (CEPEDAL et al, 1998).

pas expuestas. De esta manera, se tomaron biotitas del monzogranito; granates y piroxenos de la etapa de skarn progrado; cuarzo, carbonato, anfíboles y sulfuros del skarn retrogrado; cuarzo, carbonatos y sulfuros de la etapa relacionada con los pórfidos; y cuarzos, carbonatos y sulfuros del hidrotermalismo tardío.

Los resultados previos de los análisis isotópicos realizados (CEPEDAL et al, 1998) se reflejan en las figuras 13 y 14.

Por lo que respecta a los isótopos de carbono y oxígeno, una vez calculada su composición en el fluido a partir de los datos de temperaturas obtenidos por inclusiones fluidas, muestran dos grupos, uno que señala una evolución desde el skarn progrado hacia las calizas de Láncara, y otro grupo que queda desplazado de este último.

Proyectando los resultados de los isótopos de oxígeno respecto de las temperaturas obtenidas a partir de las inclusiones para cada uno de los minerales analizados de las diferentes etapas, se puede observar también la evolución de un fluido hidrotermal relacionado con la roca ígnea hacia las calizas de Láncara, y la presencia de otro distinto no relacionado con el anterior.

Los datos de los isótopos de azufre también muestran una composición diferente según el tipo de muestras. De todas formas, los datos aparecen muy agrupados salvo una muestra de piritita procedente de los jaspes de la Brueva. De los resultados de los análisis se puede deducir que los azufres procedentes de muestras de las etapas de retroskarn son todos ellos negativos y comprendidos entre -1.98 y -0.6, indicando una clara filiación ígnea. Los azufres relacionados con

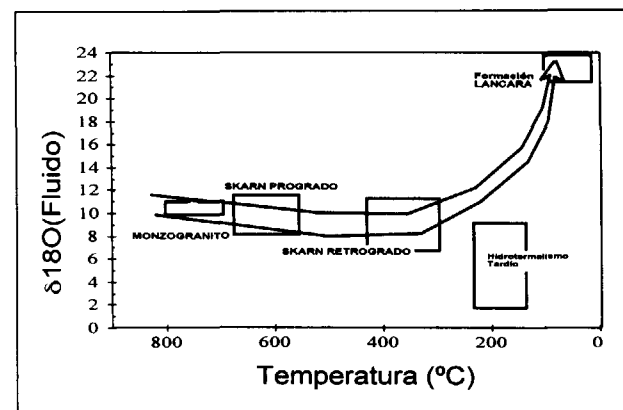


Figura 13. Evolución de la composición isotópica del oxígeno frente a la temperatura en las muestras del skarn de El Valle-Boinás.

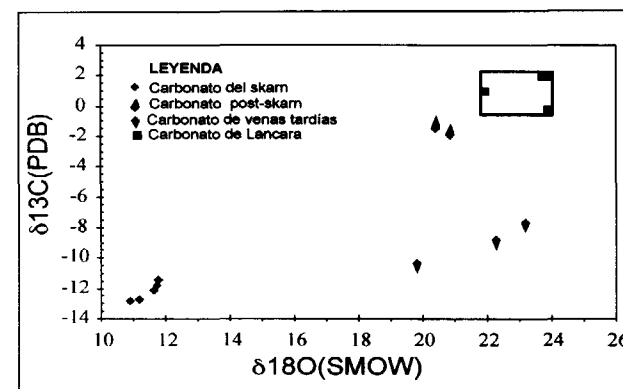


Figura 14. Evolución de la composición isotópica del oxígeno frente a la del Carbono en las muestras del skarn de El Valle-Boinás.

la etapa de pórfidos son ligeramente positivos y comprendidos entre 1.35 y 2.8, y que posiblemente tienen ya una pequeña influencia del encajante. La muestra de piritita procedente de los jaspes de la Brueva, en una zona originalmente muy próxima a la superficie, da un valor de 10.38, lo que parece indicar que en estas zonas la influencia del encajante era mucho mayor.

CONCLUSIONES

La intrusión de lacolitos graníticos en las calizas y dolomías de Lancara y en las calizas del techo de Furada y muro de Rañeces da lugar a la formación de skarns cálcicos y magnésicos, fun-

damentalmente de tipo exoskarn. Durante las etapas de retroskarn se van a formar mineralizaciones de Cu-Au caracterizadas por una paragénesis metálica constituida fundamentalmente por calcopirita, bornita, pirrotina, magnetita, arsenopirita, minerales de bismuto y electrum.

Una reactivación posterior del sistema de fracturas NE favorece la intrusión en primer lugar de diversos diques de rocas porfídicas que generan un proceso de alteración epitermal con precipitación de sílice con carbonatos y adularia, alteraciones como silicificaciones, cloritizaciones y propilitizaciones y una oxidación y remobilización de los minerales formados en las etapas anteriores con un posible nuevo aporte de oro. Posteriormente se emplazan diques de diabasas y andesitas que generan una nueva alteración caracterizada principalmente por una intensa carbonatización.

REFERENCIAS

- ARCOS, D., SOLER, A., DELGADO, J. (1995). Fluid evolution in the Cu-Au deposit related to the Carlés Granodiorite (Asturias). *European Journal of Mineralogy*, v. p. 975-985.
- BOIXET, LL. (1993). Morfología y mineralogía del skarn de Carlés, Asturias. Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona, p. 93.
- CEPEDAL, M. A., MARTIN-IZARD, A., FUERTES FUENTE, M., PEVIDA, L. (1997). Fluid inclusions on quartz, garnet and pyroxene from the El Valle copper-gold deposit (Asturias, Spain). *XIV Ecofi, Nancy, France*, p. 64.
- CEPEDAL, M. A., MARTIN-IZARD, A., FUERTES FUENTE, M., PEVIDA, L. (1998). Evidence of multiple episodes of igneous and hydrothermal activity at El Valle copper-gold deposit, Belmonte de Miranda, Asturias, Spain. *Quebec 1988, Annual Meeting Mineralogical Association of Canada*, p. 29.
- CORRETGE, G., LUQUE, C., SUAREZ, O. (1970). Los stocks de la zona de Salas-Belmonte (Asturias). *Bol. Geol. Min. España*. LXXXI: 143-145.
- CORRETGE, G., & SUAREZ O. (1990). Igneous rocks. In: Dallmeyer & Martínez García (eds), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*: 72-80. Berlin: Springer-Verlag.
- FUERTES-FUENTE, M., MARTIN-IZARD, A., CEPEDAL, M. A., MALDONADO, C. PEVIDA, L. R. (1998). Geology, Mineralogy and geochemical characterization of the igneous rocks related to the Cu-Au skarns of the Rio Narcea Gold Belt, Asturias, Spain. *Quebec 1988, Annual Meeting Mineralogical Association of Canada*, p. 96.
- GARCIA IGLESIAS, J., LOREDO, J. (1990). Geological, minera-

logical and geochemical characteristics of the Carlés gold mineralization, Asturias, Spain. *Mineralium Deposita*, vol 25, supplement, p 53-58.

GUTIERREZ CLAVEROL, M., LUQUE, C., MARTINEZ GARCIA, E., RUIZ, F. & SUAREZ, V. (1988). Los lineamientos deducidos de imágenes de satélite de las zonas Cantábrica y Asturoccidental-Leonesa (NO de España). *Estud. Geol.* 44: 263-270.

JAHODA, C., ANDREWS, J. & FOSTER, R. (1989). Structural controls of Monte Roso and other gold deposits in NW Spain fractures jogs and hot-jogs. *Institution of Mining and Metallurgy Section B* 98: 1-6

JULIVERT, M., FONTBOTE, J. M., RIBEIRO, A., CONDE, L. E. (1972). Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares E. 1:1.000.000: Instituto Geológico y Minero de España, 113 p.

MARTIN-IZARD, A., ARIAS, D., PANIAGUA, A. (1995). Yacimientos Minerales: Modelos de formación. En: *Geología de Asturias, Aramburu y Bastida eds.* pp 139-152.

MARTIN-IZARD, A., BOIXET, LL., MALDONADO, C. (1993). The Carlés Cooper-Gold-Bearing Skarn, Cantabrian Cordillera, Spain. *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits. Proceeding of second biennial SGA meeting.* 499-502

MARTIN-IZARD, A.; CEPEDAL, M.A.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E.; GONZALEZ, S.; VARELA, A. & MALDONADO, C. (1997). "The El Valle deposit: An example of porphyry-related copper-gold skarn mineralization overprinted by late epithermal events, Cantabrian Mountains, Spain". In: Papunen ed. *Mineral Deposits*. Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410889 4, 659-662.

MARTINEZ GARCIA, E. (1988). Mineralizaciones de oro en el Noroeste de la Península Ibérica. *Memorias e noticias, Pub. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, nº 106, pp 1-17.

MEINERT, L. D. (1983). "Variability of skarn deposits: Guides to exploration". In: Boardman, S.J. ed., *Revolution in the Earth Sciences-Advances in the past half-century*. Dindall/Hunt publishing company, Iowa, 301-306.

MEINERT, L. D. (1993). "Skarns and skarn deposits". In: Sheahan, P.A. & Cherry, M.E. eds., *Ore Deposit Models vol. II*. Geoscience Canada reprint series 6, 117-133.

MESA, M. (1993) Estudio de la explotación aurífera romana de la Grueva, Belmonte-Miranda. proyecto fin de Carrera ETSIM Oviedo.

PEARCE, J.; HARRIS, B. & TINDLE, A. (1984). "Trace element discrimination diagrams for the tectonics interpretation of the granitic rocks". *Jour. of Petrol.*, 25, 956-983

PEREZ ESTAUN, A. (1990). Introduction. In: Dallmeyer & Martínez García (eds), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*: 7-10. Berlin: Springer-Verlag.

PEREZ ESTAUN, E. & BASTIDA, F. (1990). Cantabrian Zone. In: Dallmeyer & Martínez García (eds), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*: 55-69. Berlin: Springer-Verlag.

RAY, G. E. & WEBSTER, I. C. L. (1990). "An overview of skarn deposits". B.C. Ministry of Energy, Mines & Petroleum Resources: B.C. Geological Survey Branch. GAC-MAC 1990 annual meeting, Vancouver.

RAY, G. E.; DAWSON, G. L. & SIMPSON, R. (1988). "Geology, geochemistry and metallogenic zoning in the Hedley gold-skarn camp". B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, *Geological Fieldwork*, 1987, Paper 1988-1, 59-80.

RUA FIGUEROA, A., LLAVONA, M., LOREDO, J., GARCIA IGLESIAS, J. (1987). Fluid inclusions in quartz from a gold mineralized granodioritic intrusion at Carles, Asturias, Spain. *Chemical Geology*, 61, pp 217-224.

SOLE, J. ARCOS, D., SOLER, A., DELGADO, J. (1995). Datación K/Ar de las distintas mineralizaciones relacionadas con el stock granodiorítico de Carlés (Asturias). *Bol. Soc. Esp. Min.* 18-2, pp. 31-32.

STRECKEISEN, A. & LEMAITRE, R. W. L. (1979). "A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks" *Neues Jahrb. Mineralogie Abh.*, 136, 169-206.

SUAREZ, O., CORRETGE, G. (1989). Plutonismo y metamorfismo en las zonas Cantábrica y Astur-Occidenta-Leonesa. En: *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Ed. Rueda, pp. 13-25.

ZAMARREÑO, I. (1972). Las litofacies carbonatadas del Cámbrico de La Zona Cantábrica (NO de España) y su distribución paleogeográfica. *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, 5: 118 p.

Original recibido: Junio 1998.

Original aceptado: Septiembre 1998.

NUEVAS APORTACIONES A LA TIPOLOGIA DE METALES PRECIOSOS PARA EXPLORACION EN ESPAÑA.

Por R. CASTROVIEJO (*)

R E S U M E N

La investigación y la exploración de yacimientos de metales preciosos se cuentan entre las actividades geológico-mineras más intensamente desarrolladas en España desde la década de los ochenta, impulsadas y finalmente casi paralizadas por las condiciones de mercado. Aunque los resultados tangibles en forma de nuevas minas desarrolladas y todavía hoy activas sean limitados, el esfuerzo realizado ha producido notables avances en el conocimiento de la Geología de los metales preciosos en la Península Ibérica. Este trabajo intenta una sistematización y una reflexión crítica sobre este reciente progreso, partiendo de un intento actualizado de síntesis de los conocimientos adquiridos, mediante la **clasificación tipológica (Cuadro 1)** de los yacimientos de metales nobles españoles, en el marco de la Geología Peninsular.

Se establecen 9 grandes grupos en función del principal metal precioso beneficiado **-platino y EGP** o elementos del grupo del platino, **plata y oro-** y del entorno geológico, en el contexto de las grandes unidades geo-estructurales de la Península Ibérica. Dichos grupos se subdividen en 20 tipos, los cuales son caracterizados individualmente.

Con respecto a los metales, el oro recibe la especial atención que corresponde a su **interés minero**, mientras que la producción minera española de EGP sigue siendo nula. El oro, lo mismo que la plata, era extraído mayoritariamente en España de depósitos de *gossan* (tipo 19), derivados de pre-concentraciones en sulfuros masivos (tipo 9), en la Faja Pirítica Ibérica (Provincias de Huelva y Sevilla, SO de España), los cuales aportaban más del 60 % de la producción minera de metales preciosos de la UE (Unión Europea) hasta mediados los años noventa. Como resultado de las investigaciones realizadas y ante el próximo agotamiento de éstos, el protagonismo se desplaza actualmente a concentraciones de skarn y jasperoide (tipos 13 y 13a: El Valle), en Asturias.

En el *Macizo Hespérico* se han definido varios metalotectos relacionados con concentraciones de **oro** ligadas a zonas de cizalla hercínicas en Galicia, Extremadura, etc.; otras concentraciones de oro se relacionan con intrusiones de granitoides o pórfidos y con formaciones de skarn (p. ej. NO peninsular, Pirineos) o jasperoide (El Valle, Asturias); en la Faja Pirítica se han investigado los tipos 9 y 19, con resultados muy positivos, aunque el agotamiento del gossan aurífero (t. 19) y los problemas mineralúrgicos de las menas refractarias (t. 9) limitan el desarrollo minero. Se ha encontrado **platino y EGP** ± cromita en complejos ofiolíticos obducidos en el N de Galicia (p. ej. Complejo de Cabo Ortegal), similares a los del N de Portugal (Complejos de Bragança y Morais). Se ha descubierto un pequeño yacimiento de **plata** en Fuenteheridos (Aracena, Huelva), pero no se ha logrado la reactivación de ninguno de los famosos distritos argentíferos clásicos (yacimientos filonianos como Guadalcanal, Sevilla, o Hiendelaencina, Guadalajara).

En *dominios alpinos* se han reconocido yacimientos epitermales de **oro y plata** de distintos tipos (p. ej. Minas Transacción y Santa Bárbara, Almería, t. 15 y 16, respectivamente) en la provincia volcánica neógena del SE español (Almería-Murcia) pero no se ha llegado a valorar la totalidad del potencial minero de la región. Se ha puesto de manifiesto la existencia de cuerpos epitermales portadores de metales nobles en un área potencial que se extiende a lo largo de más de un centenar de kilómetros hacia el N de las minas citadas (fig. 2) y se ha demostrado la factibilidad de su teledetección por *"thematic mapper"*. No se han descrito típicas concentraciones epitermales *sediment-hosted*, pero existen condiciones para que puedan darse. Con respecto a la **plata**, se ha encontrado y espera desarrollo minero un yacimiento de Zn-Pb-Ag en Mazarrón (Murcia). Por otra parte se conocen macizos ultramáficos en la Serranía de Ronda (Málaga) con indicios de **EGP** y Au, pero no concentraciones económicas. En el zócalo hercínico de dominios alpinos se han detectado concentraciones auríferas en skarn y otros indicios. Por fin, las concentraciones auríferas detríticas (paleoplaceres y placeres) terciarias y cuaternarias, muy explotadas por los romanos, han sido investigadas por diversas compañías sin resultados mineros positivos por el momento.

Finalmente, se presenta una valoración crítica del progreso realizado en los últimos años y se plantean cuestiones que toda-

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Dept. Ingeniería Geológica, Ríos Rosas, 21, Madrid.

vía no han recibido una respuesta adecuada o que, por su interés minero, merecen un mayor esfuerzo de investigación. El balance es un conocimiento profundizado de la geología de los metales preciosos españoles, el reconocimiento pleno y la notable producción de los cuerpos de gossan auro-argentífero de la Faja Pirítica Ibérica y el inicio de actividades de desarrollo y producción en Asturias (Río Narcea Gold Mines, t. 13 y 13a), por hablar sólo de los resultados actualmente económicos.

Por otra parte han de destacarse algunas cuestiones que podrían constituir atractivas metas para futuras investigaciones: entre ellas, en primer lugar, la culminación de la investigación de los *cinturones auríferos* asturianos; la definición de los controles de las concentraciones de EGP/Au (t. 1 y 2); la recuperación del oro en menas refractarias del Macizo Hespérico; el establecimiento de modelos metalogenéticos, geométricos y geoquímicos más precisos de los diferentes tipos de mineralizaciones del Macizo Hespérico; la definición de la evolución en profundidad de los cuerpos mineralizados Au-Ag en los distritos epitermales conocidos (p. ej. Cabo de Gata, Almería) y de la extensión regional de estos tipos, en parte bajo formaciones pre-terciarias metamórficas y sedimentarias, en la provincia volcánica neógena del SE de España, así como la hipotética existencia de mineralizaciones diseminadas del tipo Carlin. Se proponen precisiones terminológicas en la definición del concepto epitermal.

Palabras clave: Metales preciosos, Oro, Plata, Platino, EGP, Tipología, Metalogenia, España, Exploración.

ABSTRACT

A summary review is made of the geology of Spanish precious metals deposits, which are classified -see typological classification in [Table 1](#)- and described in the framework of the Iberian Geology. Their exploration and mining potential -see [Table 2](#)- are also reviewed, after the intensive exploration work along the 1980's and early 1990's led to a deeper understanding and new definitions of various types of deposits and prospects, and also to some mining development. Hypogene gold deposits in the Hercynian *Hesperian Massif*, and epithermal gold deposits in the SE Spain *Neogene calc-alkaline volcanic province* are emphasized.

In the *Hesperian Massif*, different *metallotects* have been demonstrated to be related to attractive concentrations of **gold**, bound to Hercynian shear-zones, in Galicia, in Extremadura, etc.; other concentrations (e. g., in Galicia and Asturias) are related to granite or porphyry intrusions and skarn and jasperoid formations. **Platinum** (\pm chromite) has been found in ophiolitic thrust complexes occurring in N Galicia, e.g. the *Herbeira Massif* of the Cabo Ortegal Complex, as well as in Northern Portugal (*Bragança and Morais complexes*). Exploration for **silver** has demonstrated a small orebody in Fuenteheridos (Aracena, SW Spain).

Exploration for **gold** in *Alpine domains* has shown interesting prospects to occur in their Hercynian basement, e.g. skarn deposits, but has been most active in the Neogene calc-alkaline volcanic province of SE Spain, formerly worked for Pb-Ag-Zn-(Cu) and for Sn (Fe), and then known for its rich Au-Ag ores (e.g. the now exhausted *Filón 340* in the Rodalquilar mine), but its full potential has yet to be realized. Epithermal precious metals-bearing bodies have been shown to occur in a region spreading over one hundred Km. northwards from those mines, and the feasibility of their detection by remote sensing has been demonstrated. Sediment-hosted epithermal deposits have not yet been found in the region, but are not to be excluded. An attractive base metal and **silver** deposit has been proved near Mazarrón (Murcia). In another context, the ultramafic massifs of the *Serranía de Ronda* (Málaga) are known as PGE/Au *metallotects*.

The overall picture of these years of research is an increased knowledge of the Spanish precious metals ore geology, summarized in the updated typology; the full reconnaissance and mining production of the gossan bodies of the SW Iberian Pyrite Belt ([SWIPB](#)); and the development of several prospects (Carlés, Salave, Mazarrón, etc.), some of them leading to active gold mines at present (Asturias), and of the ephemeral Transacción, Almería, gold mine, which after a short period of activity had to yield to the negative trend of gold prices, and was closed in 1992.

On the other hand, some questions have arisen which define interesting goals for future research, first of all the complete definition of the Asturias gold belts for mining; but also others, such as: definition of the controls of EGP/Au mineralization in the Cabo Ortegal Thrust Complex and in the Serranía de Ronda (Málaga) Ultramafic Complex; the recovery of gold in the refractory ores from the Hesperian Massif, the precise metallogenetic, geometric, and geochemical models of the different types of shear-zone and other orebodies in Hercynian terrains; the evolution at depth of the Au-Ag orebodies in the known epithermal districts (e.g. Cabo de Gata, Almería); and the regional extent and exploration of this type of orebodies (partly, under metamorphic and sedimentary Hercynian formations) in the SE Spain Neogene volcanic province, as well as the hypothetical existence of disseminated, sediment-hosted Carlin-Type ore bodies. The foreseeable exhaustion of the most economic precious metals orebodies mined in the European Union (EU) in the last decade, the gold- and silver-bearing gossan bodies of the SWIPB, gives way to the now emerging gold mining potential of the NW Iberian (particularly Asturias) region.

Key words: Precious metals, Gold, Silver, Platinum, PGE, Typology, Metallogeny, Spain, Exploration.

INTRODUCCION

La evolución de los precios de los metales preciosos en el mercado mundial dio lugar a finales de los años setenta y durante la década de los ochenta a una intensa actividad de exploración minera, la cual innovó notablemente el conocimiento de la geología de los metales preciosos españoles. El oro es sin duda el metal que ha sido más buscado y será, por tanto, el que recibirá más atención en este trabajo. La plata, hoy, se beneficia como subproducto. El platino y los elementos de su grupo (EGP) no tienen tradición minera en la Península Ibérica y, aunque han sido explorados, han suscitado relativamente poco interés. No obstante, todos ellos serán discutidos brevemente.

Este trabajo se propone un esfuerzo de síntesis, sobre los resultados científicos logrados, y de valoración de su significado para la exploración minera en España, apoyándose tanto en la propia experiencia del autor¹ como en otros trabajos publicados o comunicaciones personales. Aparte de las dificultades subjetivas implícitas en la valoración de este considerable volumen de información diversa y variada, existe otra dificultad, en buena parte insuperable, ligada a la naturaleza misma de la exploración minera: el carácter confidencial de muchos de los estudios realizados, que impide su divulgación. No obstante, lo publicado hasta ahora parece suficiente, por su volumen y calidad, para intentar una síntesis que recoja los nuevos conocimientos geológicos. La drástica reducción de la inversión en exploración a principios de los años noventa, ligada a las sucesivas caídas de los precios del oro, especialmente a partir de diciembre 1997, es un motivo más para hacer balance y procurar, al menos, una valoración científica del esfuerzo realizado. Como primer paso, se propone una tipología de las concentraciones de metales preciosos españoles (Cuadro 1) que actualiza anteriores clasificaciones, incorporando nuevos datos, ideas y modelos. A continuación, se expone o

(¹) Particularmente en sendos trabajos (1994 a, b y 1995 a, b) dedicados, más específicamente, a los aspectos de exploración y de clasificación tipológica de los yacimientos de metales preciosos españoles, respectivamente. El lector interesado puede encontrar en ellos informaciones complementarias y una bibliografía específica más completa.

discute brevemente la geología de cada tipo y su significado para la exploración minera. Finalmente, se hace una valoración de los resultados de exploración y, sobre todo, se plantean diversas cuestiones que no han sido todavía resueltas y que esperan respuesta de futuros esfuerzos de investigación.

TIPOLOGIA DE YACIMIENTOS

Antecedentes

A nivel mundial, se han publicado diversas tipologías de concentraciones auríferas. Aunque algunas de ellas proceden de investigadores relevantes o tienen amplia difusión (p. ej. las de BOYLE, 1979, 1980, 1987; BACHE, 1981), no siempre son prácticas para exploración por diferentes razones, ya sea por el uso de criterios excesivamente teóricos, ya por una prolijidad excesiva, ya por emplear conceptos demasiado generales o ambiguos, que hacen que un mismo yacimiento se pueda encontrar fácilmente en varios tipos diferentes, lo que genera confusión.

Entre los antecedentes españoles, debe destacarse, como referencia general, el inventario preliminar de J. BURKHALTER (IGME, 1984) sobre el oro en España (Cuadro 2, en CASTROVIEJO, 1995 a). Igualmente para el oro, V. CRESPO (1988) presenta un balance de gastos y proyectos de exploración (1983-1987) que, además de datos históricos y económicos, aporta una clasificación tipológica de los yacimientos españoles de oro (Cuadro 3, en CASTROVIEJO, 1995 a). Más recientemente, el autor (CASTROVIEJO, 1994 -a y -b, 1995 -a y -b) elaboró una tipología para el conjunto de los metales preciosos, actualizada con los datos de exploración a la fecha. R. URBANO (1994) expone los resultados de los trabajos del ITGE (para el oro), adoptando una tipología basada en la clasificación de J. Burkhalter para los yacimientos auríferos españoles; sin embargo, por la fecha en que ésta fue elaborada (IGME, 1984) y sin poner en duda el incuestionable mérito del trabajo pionero de J. Burkhalter, dicha clasificación no puede reflejar los avances logrados en la década y media transcurrida desde su presentación; como hace notar su autor (IGME, 1984): "*El encaje de los yacimientos auríferos españoles en el marco de cualquier clasi-*

CUADRO 1 - CLASIFICACION TIPOLOGICA DE YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE METALES NOBLES (*)			
TIPO	METAL	CARACTERIZACION	EJEMPLO
CONCENTRACIONES EGP/Au EN COMPLEJOS MAFICOS/ULTRAMAFICOS			
1	EGP	En el Macizo Hespérico: t. Ofiolítico	C. Ortegai
2	EGP	En dominios Alpinos: Menas Cr-Ni, con EGP/Au	S. Ronda
CONCENTRACIONES Pt Y EGP EN SEDIMENTOS Y SUELOS			
3	EGP	Detriticas/residuales, de tipos 1/2	id. 1, 2
CONCENTRACIONES DE Ag o Pb, Zn/Ag (**) EN TERRENOS HERCINICOS			
4	Ag	Filones argentíferos en rocas metamórficas Hercínicas	Guadalcanal
5	Ag	Menas Ag en formaciones volcano-sedimentarias y carbonatadas	Aracena, Huelva
6	Ag	Filones hidrotermales Pb-Zn-(Ag)	Linares
CONCENTRACIONES Pb, Zn/Ag EN PROV. VOLCANICA NEOGENA DEL SE ESPAÑOL			
7	Ag	En relación con intrusiones someras Neógenas en rocas pre-Terc.	La Unión
8	Ag	Concentr. epitermales relac. volcanitas Neógenas calco-alcalinas	Cabo de Gata
CONCENTRACIONES VOLCANO-SEDIMENTARIAS EN EL MACIZO HESPERICO (***)			
9	Au	Diseminaciones Au con sulfuros masivos	Huelva
CONCENTRACIONES HIPOGENICAS Au EN TERRENOS HERCINICOS			
10	Au	Filonianas, en zona de cizalla	Fervenza
11	Au	Hidrotermales, relac. con granitoides	Salave
12	Au	Mixtas (z. cizalla en granitoides)	Corcoesto
13	Au	En formaciones de skarn con sulfuros	Carlés
13 a	Au	En formaciones oxidadas con jasperoide	El Valle
14	Au	Filones Sb(As)-Au y otros	Extremadura, León
CONCENTRACIONES Au EN PROVINCIA VOLCANICA NEOGENA DEL SE ESPAÑOL			
15	Au	Encajante volcánico, tipo ácido-sulfatado (high-sulfidation)	Rodalquilar
16	Au	Encajante volcánico, tipo adularia-sericita (low-sulfidation)	Cabo de Gata
17	Au	Encajante no volcánico	Lomo de Bas
CONCENTRACIONES Au EN SEDIMENTOS DETRITICOS NEOGENOS Y RECIENTES			
18	Au	Paleoplaceres, en especial Neógenos, y placeres auríferos	NO Peninsular
DEPOSITOS DE METALES PRECIOSOS EN FORMACIONES DE GOSSAN			
19	Au	Concentr. superg. Au-Ag en gossan de sulfuros masivos (tipo 9)	Huelva

(*) Au, Ag y EGP o *platínidos* (elementos del grupo del platino).
(**) En los tipos 6 y 7 la plata sólo se ha beneficiado como sub-producto.
(***) En el tipo 9, hasta ahora, oro y plata se benefician como sub-productos.

cación tipológica de las existentes a nivel mundial ofrece dificultades prácticamente insoslayables en el momento actual, si se pretende efectuar con un mínimo de rigor metalogenético. Esta imposibilidad se basa en el escaso conocimiento que se posee sobre la mayor parte de las mineralizaciones dado que, en general, las explotacio-

nes mineras y los estudios correspondientes se remontan a épocas bastante lejanas".

Finalmente, las más recientes investigaciones han supuesto valiosos aportes al conocimiento. Y la realidad minera ha sufrido en España un importante vuelco en cuanto a la tipología de los

yacimientos más productivos, que pasan a ser concentraciones hipogénicas hidrotermales (Asturias), en lugar de las concentraciones oxidadas supergénicas, tipo gossan, de la Faja Pirítica Ibérica, ya casi exhaustas. Aunque esta evolución puede ser encajada sin violencia en la tipología propuesta (1994, 1995), resulta interesante una revisión a la luz de los nuevos conocimientos; por otra parte, ésta es obligada por la constatación de un error, fortuito pero grave, en la única versión castellana publicada en España (1995 a): el cuadro esencial, que muestra el esquema de clasificación tipológica, apareció con modificaciones incomprensibles, al parecer por errores informáticos de edición de la revista, las cuales lo hacen ininteligible. Ello obliga a una corrección de dicha publicación y a la presentación del cuadro auténtico (Cuadro 1), actualizado, que sirve de base a la presente discusión.

Se ha optado por una tipología de utilidad práctica y que, al tiempo, cumpla un requisito científico fundamental para exploración: basarse en hechos objetivos, que puedan ser contrastados por cualquier observador. Se ha preferido utilizar criterios descriptivos y obviar así discusiones genéticas excesivamente teóricas, cuando no infundadas para el nivel de conocimientos existente. Evitando el peligro de encadenar la exploración a modelos dogmáticos, tampoco se desprecian los esfuerzos de interpretación ni otras aportaciones teóricas (cf. Metalogenia).

La figura 1 ofrece, en el marco geológico de la Península Ibérica, la ubicación de los yacimientos/indicios discutidos y, particularmente, de los que sirven de referencia para los distintos tipos. Por evidentes problemas de escala, no siempre puede individualizarse la ubicación de concentraciones importantes pero próximas (es el caso de las de la Faja Pirítica Ibérica o de las que constituyen el conjunto Carlés, El Valle, etc. de Río Narcea, Asturias, de las que sólo se señala Carlés, C en fig. 1). La figura 2 muestra, en esquema, la provincia volcánica neógena del SE Peninsular, con los indicios correspondientes.

Propuesta de clasificación actualizada. Criterios

La clasificación tipológica presentada en el Cuadro 1 distingue 20 tipos de concentraciones

de metales preciosos, articulados en nueve grandes grupos atendiendo, en primer lugar, al principal metal precioso beneficiado (EGP o elementos del grupo del platino, **plata** u **oro**) y, seguidamente, a los datos generales del entorno geológico. La distinción entre tipos se basa en características específicas, consideradas esencialmente desde un punto de vista descriptivo, es decir, apoyado en hechos de observación más que en conceptos interpretativos.

Dicha clasificación se distingue de las anteriormente citadas por utilizar sistemáticamente, como criterio básico, la relación con el entorno geológico, con las grandes unidades estructurales de la Península Ibérica. Sólo cuando se ha establecido esta relación se consideran otras singularidades, genéticas o de otro tipo. Se espera, al recurrir a este criterio fundamental geológico y descriptivo, ganar en claridad y evitar el típico escollo de las interpretaciones polémicas. Estas son importantes para hacer avanzar la ciencia, pero con frecuencia dificultan el lograr un consenso inicial ampliamente aceptado, un lenguaje común.

Se considera el oro como objeto capital por su significado minero. La plata es extraída en España conjuntamente con el oro en la mayor parte de los casos, por lo que la tipología es en gran parte común. Los EGP, carentes de producción minera española, pueden caracterizarse con facilidad en unos pocos tipos (t. 1 a 3). En caso de concentraciones polimetálicas, se considerará el metal precioso que constituya la principal sustancia beneficiada. Si el metal/es precioso/s se obtiene/n únicamente como subproducto de otro tipo de minería (vbgr. el oro de los sulfuros masivos, la plata de filones Pb-Zn), en rigor, no se trata de un yacimiento de metales preciosos y no será objeto principal de atención, pero sí se define y se le reserva un lugar en la clasificación. De lo contrario, concentraciones tan significativas como los sulfuros complejos de la Faja Pirítica Ibérica (*tipo 9*), que hasta hace poco han sido, directa (*tipo 9*) o indirectamente (*tipo 19*), la fuente principal de la minería de metales preciosos de la Unión Europea, no deberían ni siquiera ser mencionadas; evidentemente debe evitarse tal despropósito, más aún si se tiene en cuenta que un eventual éxito en las investigaciones mineralúrgicas en curso para concentrar el oro

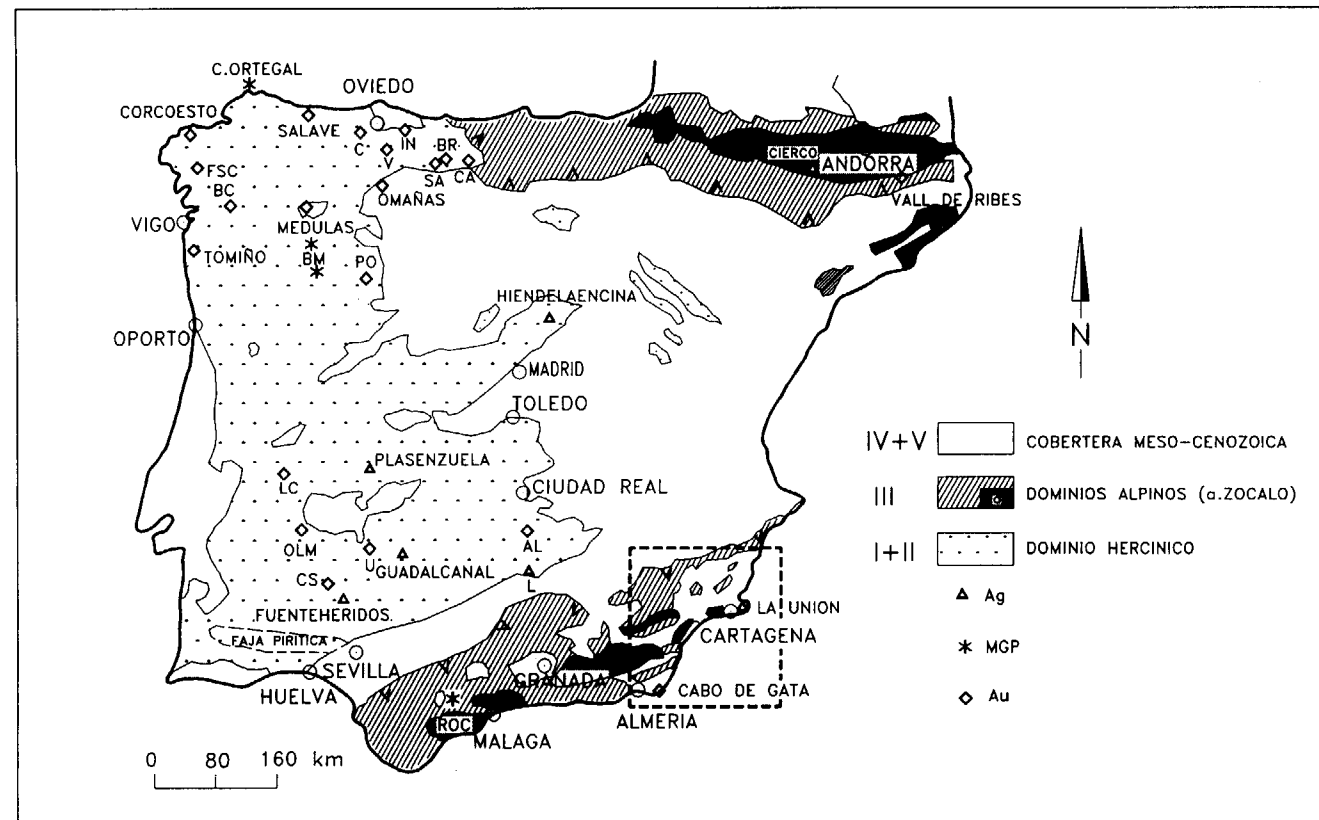


Figura 1.- Esquema geológico de la Península Ibérica (modificado de CASTROVIEJO 1994 a). El Dominio Hercínico se compone de terrenos precámbricos y paleozoicos (Macizo Hespérico). Los dominios alpinos se componen de terrenos mesocenoicos y zócalo hercínico. La Cobertera comprende terrenos mesocenoicos pre- y sin-alpinos y cuencas terciarias post-alpinas. Recuadro: área ampliada en la fig. 2.

Abreviaturas de localidades e indicios/minas citados: AL: Almuradiel (tipo 14); BC: Brués-Carballiño (t. 11); BM: Complejo de Bragança y Morais (t. 1); BR: Burón-Riaño (t. 14); C: Conjunto Río Narcea (Carlés t. 11; El Valle, t. 13a; Boinas, etc.); CA: Carracedo (t. 13); CS: Cala (t. 13) Sultana (t. 11); FSC: Fervenza-Santa Comba (t. 10, 12); IN: Infesto (t. 13); L: Linares-La Carolina, Sierra Morena (t. 6); LC: La Codosera (t. 10); OLM: Anticlinorio Olivenza-Monesterio (t. 10); PO: Pino del Oro (t. 10); ROC: Ronda, Ojén, Carratraca (t. 2); SA: Salamón (t. 14); U: Usagre (t. 14); V: Villamanín (t. 14).

refractario podría suponer el paso de dichos yacimientos a yacimientos de metales preciosos en sentido estricto, pasando a ser subproducto del oro los sulfuros actualmente beneficiados.

El criterio seguido, aun siendo fruto de un esfuerzo de racionalización, es desde luego también limitado y cuestionable. En primer lugar, no se ha pretendido hacer un catálogo exhaustivo de todas las posibles concentraciones de metales preciosos —como el meritorio inventario para el oro de J. BURKHALTER, *op. cit.*—, sino prestar atención principalmente a las de verdadero interés minero, actual o potencial (yacimientos o indicios), de las que hay una idea suficiente-

mente precisa como para poder definir las. Como orientación, para apreciar el significado minero de cada tipo, se presenta en el Cuadro 2 (actualizado de CASTROVIEJO, 1994 a) una estimación de reservas de algunos yacimientos característicos.

Los indicios insignificantes, mal conocidos y de caracterización dudosa serán antes descartados que convertidos en falsos proto-tipos. Por esta razón se han agrupado, como *tipo 14*, una serie de indicios y antiguas minas que, si bien parecen tener ciertos rasgos en común, podrían tal vez ser diferenciados (distinguiéndose sub-tipos o incluso algún nuevo tipo) en el futuro, cuando se disponga de valoraciones y estudios más com-

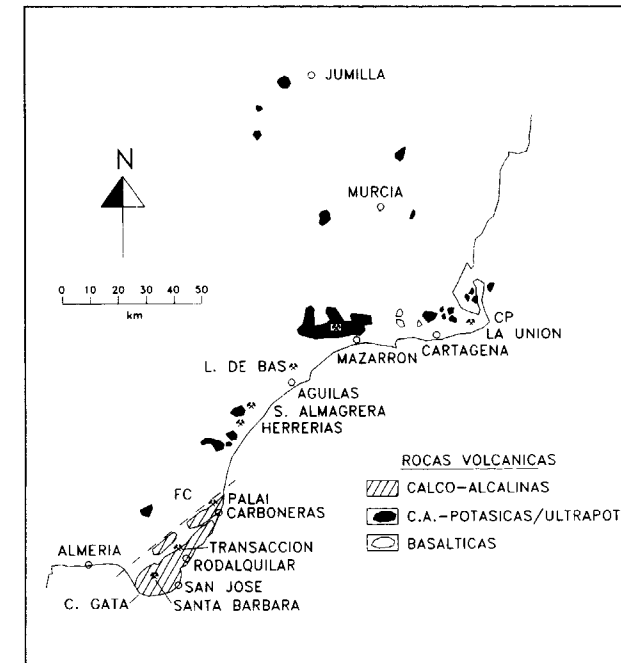


Figura 2.- Distribución de rocas volcánicas neógenas en el SE de España y situación de las minas/indicios comentadas. El área corresponde al recuadro de la fig. 1. Modificado de LOPEZ RUIZ y RODRIGUEZ BADIOLA, 1980. Las rocas calco-alcalinas potásicas y shoshoníticas y las ultrapotásicas de estos autores se representan conjuntamente, por razones de escala, como "C.A.-potásicas/ultrapotásicas". Los símbolos de mina corresponden a distritos mineros de Pb-Zn-Ag, (Fe, Mn, Sn, Sb) o Au.

Abreviaturas: FC Falla de Carboneras, CP Cabo de Palos.

pletos. Este riesgo de modificación futura —hecha ya realidad en el nuevo tipo 13 a—, se considera compensado por la ganancia en sencillez y coherencia, que deben ser condiciones indispensables de toda tipología.

Otro tipo de limitaciones se plantea en torno a la atención prestada a otros procesos, entre ellos los genéticos². Así, puede parecer a algunos innecesaria para una tipología e inconsecuente con los principios de simplicidad aludidos más arriba la distinción de los *tipos 9 y 19* (sulfuros masivos y cuerpos de gossan derivados de los mismos, respectivamente). De hecho, esta distinción no siempre se ha hecho: el *tipo 5* agrupa concentra-

⁽²⁾ Los criterios genéticos pueden ser aceptables como base de clasificación únicamente cuando superan el nivel de conjeturas y se corresponden con hechos significativos, claramente demostrables y firmemente apoyados en la realidad por medio de observaciones objetivas.

ciones argentíferas en formaciones volcano-sedimentarias y carbonatadas y en masas de óxidos derivadas de las mismas. La diferencia entre ambos casos radica en la necesidad o no de tal distinción.

En el primer caso, es evidente que se trata siempre de cuerpos de considerable entidad minera, distinguiéndose los de ambos tipos (t. 9 y 19), a pesar de su clara relación espacial y genética, no sólo por procesos de concentración y edades diferentes, sino también por geometrías, composiciones mineralógicas y contenidos metálicos bien diferenciados que dan lugar a bien distintas actividades productivas (mineras y mineralúrgicas), por las que se extraen los metales preciosos únicamente como sub-producto en el caso de los sulfuros masivos y como producto esencial en el caso de las masas oxidadas; además, las reservas de gossan serán agotadas, al ritmo actual de extracción, en pocos años, lo que no es previsible todavía para los sulfuros masivos de esta gran provincia metalogénica. Hay, pues, hechos significativos que justifican un tratamiento diferenciado.

Por el contrario, la pequeña entidad de los cuerpos reconocidos hasta ahora en el segundo caso (t. 5) no aconsejan una distinción teóricamente posible, pero sin significado práctico en el estado actual de conocimientos, ya que en este caso (Fuenteheridos) los procesos supergénicos, que al fin y al cabo afectan a cualquier yacimiento somero, no han dado lugar a concentraciones suficientemente importantes como para justificar su separación: por ello se ha optado por el principio de simplicidad y se han agrupado en un mismo tipo las concentraciones primarias y secundarias. Lo cual no impide que si algún día llegase a reconocerse la existencia de cuerpos significativos de gossan argentífero (distinto del auro-argentífero del t. 19), pudiese desglosarse tal tipo para incorporarlo por derecho propio a la clasificación.

Se ha querido, pues, evitar la tentación de hacer una tipología que lleve la ambición teórica al extremo de contemplar todos los casos posibles aunque no existan (o, lo que es lo mismo, definir objetos inexistentes), para optar, más modestamente, por una tipología práctica y realista, referida a la geología española, que se corresponda

CUADRO 2 - ESTIMACION DE RESERVAS Y LEYES DE ALGUNOS EJEMPLOS DE YACIMIENTOS TIPO (*)			
TIPO	EJEMPLO	RESERVAS ⁽¹⁾	LEY ⁽²⁾
5	Fuenteheridos	2	4% (Pb+Zn)
		3	77 Ag
19	Río Tinto (Huelva) Tharsis (F. Sur, Lapilla)	5	47 Ag
			0,9 Au
		5	2 Au
10/12	Cuerpo medio ⁽³⁾ , estimación	0,03	3 Au
11	Salave (Asturias)	16,5	2,5 Au
13	Carlés (Asturias)	2,6	5 Au
			10 Ag
13 a	El Valle (Asturias)	10	4 Au
9	Lomero Poyatos (Huelva)	0,5	6 Au
	Masa Migollas (Sotiel, Huelva)	6	2 Au
	Filón Norte, Tharsis	86	0,8 Au
	Masa Los Frailes (Aznalcóllar, Sevilla)	50	0,7 Au
			70 Ag
	La Zarza (Huelva)	10	6 Au
15	Rodalquilar, cuerpo medio ⁽³⁾	0,5-1	1,3 Au
18	Depósito medio	5-25 mill. m ³	0,1/0,15 g/m ³ Au

(*) Tipo indicado por su número (Cuadro 1).

⁽¹⁾ En millones de toneladas métricas (t), salvo indicación contraria; estas cifras son estimaciones de reservas existentes (todavía no extraídas a la fecha; información adicional: CASTROVIEJO, 1994 a)

⁽²⁾ En ppm Au o Ag, salvo indicación contraria.

⁽³⁾ Las cifras indicadas se refieren únicamente a cuerpos discretos, individuales. Las reservas de un distrito o incluso de una mina serán normalmente un múltiplo del tonelaje dado, dependiendo del número de cuerpos mineralizados que se han definido (sus contenidos metálicos se estiman, en una primera aproximación, equivalentes). Por ejemplo, en el distrito de Rodalquilar se conocen varios cuerpos separados, que pertenecen a distintos propietarios; en el supuesto de 5 cuerpos como el estimado -la evaluación de reservas no se ha terminado- podría estimarse un contenido total de Au metal de unas 2,5 a 3 t, frente a las 6 ya extraídas. Algunos yacimientos de los tipos 10 a 13 en el NO Peninsular podrían contener varios cuerpos, con un metal contenido total de unas 5 a 50 t Au (es decir, 2 a 10 millones t de reservas, con leyes de 1,5 a 5 ppm de oro).

con los hechos conocidos y con la realidad de los datos de exploración, a expensas de poder ser ampliada y actualizada si los futuros conocimientos así lo exigiesen.

DESCRIPCION Y GEOLOGIA DE TIPOS ESPAÑOLES

Una vez establecidos los criterios, la caracterización de cada tipo se hará, más que por una definición o enumeración de rasgos abstractos, apoyándose en la descripción sucinta del representante(s) más apropiado(s) en su marco

geológico, lo que al menos debería garantizar el contacto directo con la realidad, la referencia concreta a objetos realmente existentes. Dicha descripción se hará por sustancias y siguiendo el orden del Cuadro 1. Todos los yacimientos citados se encuentran ubicados en las figuras 1 a 3; de ellos sólo serán descritos, por razones obvias de espacio, los que por su significado o importancia interesan al objeto del presente trabajo; por las mismas razones, se citan sólo las referencias bibliográficas imprescindibles (más datos en CASTROVIEJO, 1994 a-b, 1995 b). El cuadro 2, ya comentado, ofrece una estimación de reservas de representantes típicos.

Platino y elementos del grupo del platino (EGP)

Los metales del grupo del platino son los únicos, entre los preciosos, que carecen de toda tradición minera (extractiva) en España, aunque se conoce la existencia de indicios desde los trabajos pioneros de D. ORUETA (1919) en las formaciones ultramáficas de la Serranía de Ronda (Málaga).

Existen concentraciones de EGP (en algunos casos también auríferas)

- * hipogénicas, en complejos ultramáficos
- del Macizo Hespérico (tipo 1), en el NO de la Península Ibérica,
- y del Dominio Alpino (tipo 2), en el Sur (provincia de Málaga),

* así como indicios de concentraciones supergénicas de los mismos en formaciones detríticas recientes y suelos (tipo 3), en ambas regiones. Estas últimas han sido reconocidas por D. ORUETA (op. cit.) y por V. SHASHKIN (1992), en los sectores Sur y Noroeste, respectivamente; el conocimiento presente de este tipo les confiere escasa importancia, excepto como guías de exploración.

- El tipo 1, ofiolítico o polimetamórfico, está bien representado en el Macizo Hespérico por los macizos ultramáficos de Galicia y Norte de Portugal³ (figura 3). El complejo ofiolítico de Cabo Ortegal, explorado por Adaro, es el que ha dado resultados más alentadores; S. MONTERRUBIO (1991) demostró contenidos de hasta 6 ppm Pt+Pd (análisis de roca total) en peridotitas cromíticas del Macizo de Herbeira, con enriquecimientos aparentes de los EGP tanto en las capas cromíticas como en la matriz serpentinitica. Por otra parte, en otras unidades del mismo complejo, como ocurre típicamente en series ofiolíticas (p. ej. Chipre), se han beneficiado concentraciones volcano-sedimentarias sulfuradas de cobre.

- El tipo 2 está representado por los macizos ultramáficos de Ronda, Ojén y Carratraca (Málaga, fig. 1). Las formaciones de la Serranía de Ronda son las primeras que llamaron la atención por su contenido en EGP (ORUETA, 1919),

⁽³⁾ Ya en 1949 puso de manifiesto J. M. Cotelo Neiva la existencia de EGP en los Macizos de Bragança y Morais (Portugal).

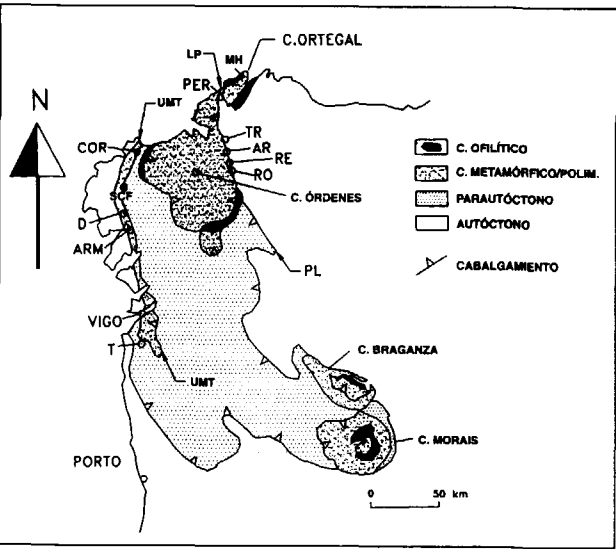


Figura 3.- Distribución de unidades alóctonas en la Zona Galicia-Tras os Montes (Sectores Galicia O y Portugal N del Macizo Hespérico, modificado de RIBEIRO et al., 1990, y QUESADA, 1992), indicando situación de complejos alóctonos (= C) y de algunas zonas de cizalla mayores relacionadas con concentraciones Au, que se corresponden con los márgenes de la Unidad de Malpica Tui (= UMT) y con el Lineamiento de Pontedeume (= LP). Distritos e indicios auríferos (tipos 10-12): AR Aranga; ARM Armada; COR Corcoesto; D Donas; PER Pereiro; RE Remouran; RO Roñon; SC-F área Santa Comba O-Fervenza; T Tomiño; TR Travesas. Los Complejos de Cabo Ortegal, Ordenes, Bragança y Morais contienen complejos ofiolíticos con metalotectos de EGP, tipo 1, entre ellos el Macizo de Herbeira (MH).

aparte de las diversas mineralizaciones de sulfuros de Ni que contienen, ya explotadas en varias minas.

Los trabajos recientes (GERVILLA y LEBLANC, 1990) distinguen tres tipos de menas (cromita; cromita con arseniuros de Ni; S-G o sulfuros de Ni-Fe-Cu-grafito), la segunda de las cuales, con EGP y hasta 35 ppm de Au, es interpretada como de un tipo único, exclusivo del orógeno Bético-Rifeño. También se han encontrado trazas de MGP como inclusiones en cromita del primer tipo (TORRES-RUIZ et. al., 1993).

PLATA

La plata, caracterizada en la Península Ibérica por una metalogenia variada, se cuenta entre los metales tradicionales de la minería española. Dada su frecuente asociación, como sub-pro-

ducto, con oro o con *base metals* (Pb, Zn), muchos de sus yacimientos figurarán en la tipología como de oro o de plomo/cinc. Estos últimos, es decir, los de Pb-Zn (Ag), desbordan el objetivo estricto de este trabajo, pero merecen, al menos, una mención, ya que buena parte de la producción tradicional y reciente española de plata se debe a estos tipos (t. 6 y 7) de yacimientos, aunque en los últimos años se hayan visto todas sus minas obligadas a cerrar⁴.

Se han definido los siguientes tipos:

* Concentraciones de plata o de plomo-cinc (plata) en terrenos hercínicos (la mayor parte en el Macizo Hespérico, pero también en el zócalo hercínico de dominios alpinos):

- *Tipo 4: Filones argentíferos en rocas metamórficas hercínicas*. Se trata de un grupo muy amplio de yacimientos hipogénicos, con varias clases posibles por lo que se refiere a ambientes geológicos y a condiciones y procesos de formación. A él pertenecen las más famosas minas de plata españolas, como Guadalcanal y Hiendelaencina, pero no conserva ni una sola activa desde hace varios decenios, lo que representa una seria dificultad para su investigación y limita la precisión de los conocimientos posibles.

El yacimiento de **Hiendelaencina**, Guadalajara (MARTINEZ FRIAS, 1992) y otros de su distrito, en el Sistema Central, han sido interpretados como concentraciones epitermales⁵ de Ag-(Pb-Zn), relacionadas con episodios de tectónica distensiva y volcanismo calco-alcalino del Carbonífero/ Pérmico (CONCHA *et al.*, 1992), aunque hay opiniones divergentes (TORNOS *et al.*, 1993; CONCHA *et al.*, 1993). El yacimiento de **Guadalcanal** (Sevilla) muestra marcadas similitudes con los de Kongsberg (Noruega) y Cobalt (Ontario), y se caracteriza por complejas paragénesis de arse-

niuros, antimoniouros y sulfosales de plata (CASTROVIEJO, 1990 b), cuya precipitación *topomine-ral* aparece asociada a ciertos niveles (metavolcanitas básicas fuertemente propilitizadas) del encajante, análogos a los *Fahlbänder* de Kongsberg. Estos ejemplos más famosos no agotan el tipo 4: vbgr., en las minas de **Plasenzuela** (Trujillo, Cáceres) se extraía la plata de filones mesotermiales de arsenopirita, sulfuros y sulfosales de plata, encajados en metasedimentos epizonales del *Complejo Esquisto-Grauváquico* y espacialmente relacionados con una intrusión granítica (LAGO *et al.*, 1989), que muestran bastantes similitudes con los del distrito de Coeur d'Aléne, Idaho (USA).

- *Tipo 5: Concentraciones argentíferas, con o sin plomo-cinc, relacionadas con formaciones volcano-sedimentarias y / o carbonatadas*. Se consideran únicamente los yacimientos en que la plata es el metal principal, excluyéndose por tanto los explotados prioritariamente para oro u otros metales, aunque también contengan plata: vbgr. los de la Faja Pirítica Ibérica (t. 9). El yacimiento de **Fuenteheridos** (Sierra de Aracena, Huelva) puede considerarse como el representante típico. Los cuerpos mineralizados consisten en concentraciones estratiformes, probablemente volcano-génicas, de sulfuros y sulfosales de plata, barita, etc.; el encajante, en formaciones carbonatadas y volcano-sedimentarias de edad Proterozoico-Cámbrico.

- *Tipo 6: Filones hidrotermales Pb-Zn-(Ag) en el Macizo Hespérico (la mayoría) o en el Zócalo Hercínico de Cadenas Alpinas (Pirineos)*. Encajan habitualmente en granitoides o en rocas metamórficas. Tradicionalmente han sido interpretados como yacimientos hipogénicos relacionados con el ciclo hercínico, pero algunas interpretaciones recientes tienden a considerarlos post-hercínicos. Esto no tiene por qué alterar su posición en la presente tipología descriptiva, basada en sus rasgos generales y en el entorno geológico. Desde el punto de vista minero, la plata es únicamente un sub-producto. Los distritos más representativos, antaño muy importantes y hoy inactivos, se encuentran en una amplia región que abarca desde Sierra Morena Oriental (vbgr. Linares y La Carolina, Jaén) hasta Extremadura (vbgr. Azuaga, Badajoz); en el zócalo pirenaico destaca el de Cierco (Lérida. CASTROVIEJO y MORENO, 1983).

⁽⁴⁾ Esta tendencia negativa podría no obstante corregirse en fechas próximas, si llegan a culminar los trabajos de desarrollo en Mazarrón (t. 8).

⁽⁵⁾ La interpretación de estos yacimientos como epitermales ha conducido a su equiparación -tal vez lógica desde dichos presupuestos genéticos, pero también equivoca desde el punto de vista de la coherencia tipológica- con los de Herrerías-Sierra Almagrera (Almería), clasificados en el tipo 8 en la presente tipología, por su relación con el volcanismo neógeno del SE español.

* Concentraciones de plata y / o plomo-cinc (plata) relacionados con el volcanismo de la provincia neógena calco-alcalina del Sureste peninsular:

- *Tipo 7: Yacimientos filonianos, disseminaciones y masas o mantos de Pb-Zn-(Fe, Sn, Ag), relacionados con intrusiones someras terciarias en formaciones hercínicas y mesozoicas del Dominio Bético*. Han tenido gran importancia desde tiempos pre-romanos y han seguido en actividad a lo largo de más de 2000 años, hasta el cierre reciente de las Minas de la Unión, Cartagena (figs. 1 y 2), consideradas en su momento como las explotaciones de Pb-Zn-Ag de más baja ley del mundo. La interpretación genética de estos yacimientos ha sido polémica (PAVILLON, 1969; OEN *et al.*, 1975; OVEJERO *et al.*, 1976), en especial por lo que se refiere al papel del volcanismo y al origen de los metales (aportes volcánicos versus herencia de formaciones pre-terciarias), pero como tipo pueden ser caracterizados en conjunto como concentraciones espacialmente relacionadas con intrusiones someras de la región volcánica neógena del SE de España, incluso cuando están emplazados en formaciones hercínicas metamórficas o mesozoicas.

- *Tipo 8: Concentraciones epitermales Pb (Zn)-Ag(Au) y Ag relacionadas con las volcanitas neógenas calcoalcalinas del SE peninsular, emplazadas en rocas terciarias, volcánicas o no, o incluso en formaciones hercínicas (transicionales al tipo 7)*. No son muchos los ejemplos que pueden ser considerados como yacimientos de plata, es decir, en los que la plata es el metal principal. Dos podrían ser citados como típicos: Herrerías, Almería para plata (MARTINEZ FRIAS *et al.*, 1989) y Mazarrón, Murcia para Zn-Pb-Ag (MORALES y FENOLL, 1990). Otros ejemplos en Cabo de Gata y Rodalquilar serán tratados con los yacimientos auríferos (tipos 15 a 17).

ORO

El oro tiene una larga tradición minera en España y, al igual que la plata, se presenta en épocas y tipos variados. Estos pueden ser clasificados como:

* Concentraciones volcano-sedimentarias en

terrenos metamórficos hercínicos. Han sido la principal fuente de la reciente producción española (y de la Unión Europea) de oro, ya sea como subproducto de la minería de sulfuros masivos (oro primario, disseminado en las masas de sulfuros: *tipo 9*), muy bien representados en la Faja Pirítica Ibérica, provincias de Huelva y Sevilla (fig. 1), ya como concentraciones secundarias supergénicas en gossan (*tipo 19*). Entre los trabajos de exploración (por oro), merece destacarse la investigación de los sulfuros masivos (primarios) como yacimientos de notable potencial aurífero, considerando el oro como el metal principal. Por ejemplo, la recientemente desarrollada en la Mina La Zarza (Huelva), que puso de manifiesto importantes reservas (Cuadro 2) en el mineral *silicatado* (masa sílice-sulfuros relacionada con eventos hidrotermales subsecuentes a la deposición de las masas piríticas volcano-sedimentarias), aunque el carácter refractario de la mena aurífera representa una dificultad no superada, en un momento de baja cotización del metal. Por ello el desarrollo minero del oro en este tipo está todavía en expectativa.

* Concentraciones hipogénicas de oro en terrenos metamórficos hercínicos: ya beneficiadas en tiempos pre-romanos y romanos, se cuentan entre las más investigadas en los últimos años, especialmente en el Macizo Hespérico. La información obtenida permite su clasificación en los tipos 10 a 14 del Cuadro 1, algunos de los cuales (t. 10, 11 y 12) suelen estar interrelacionados o formar tipos mixtos. Aunque la distinción en este caso puede parecer artificial -los yacimientos **relacionados con zonas de cizalla** (t. 10) lo están también frecuentemente con granitoides o pórfidos y viceversa-, resulta útil distinguir un tipo **relacionado con granitoides** (t. 11), sin necesidad de implicar la existencia de deformación dúctil o cizalla, mientras que el **tipo mixto** (t. 12) implica relación simultánea con granitoides y deformación dúctil.

- *Tipo 10: concentraciones filonianas en zona de cizalla*. Pueden ser caracterizadas por las del área Santa Comba-Fervenza, Coruña (CASTROVIEJO, 1990 a), que muestran un marcado control por grandes estructuras y zonas de cizalla (fig. 3), en régimen de transición dúctil-frágil, con episodios cíclicos de sobrepresión de fluidos y fracturación / cataclasis, seguidas de circulación hidrotermal,

relleno y cemento de brechas. Es frecuente la relación con granitos o pórfidos. La alteración hidrotermal (potásica, sericitica, argílica...) es manifiesta y por estar asociada a una deformación localizada de litologías catazonales presenta a veces un carácter retrógrado.

Son similares a otros yacimientos de zona de cizalla europeos (*vbgr.* Macizo Central Francés, BONNEMAISON y MARCOUX, 1987), integrándose en el tipo habitualmente designado como *mesothermal* o: *vein type, gold only, metamorphic, greenstone belt... gold deposits*. Comparados con los típicos yacimientos precámbricos de *greenstone belts* (*vbgr.* Abitibi Belt, Canadá), los españoles citados son más pequeños en tamaño y reservas y se presentan en rocas de mayor grado metamórfico, en secuencias en que las rocas máficas volcánicas son menos abundantes.

- *Tipo 11: concentraciones hidrotermales en granitoides.* Existen varios ejemplos, casi todos ellos caracterizados por abundante alteración hidrotermal relacionada con la mena de sulfuros y oro nativo; éste puede estar asociado con facies específicas. El yacimiento de Salave (Asturias) ha sido definido por M. HARRIS (1980 a,b) como un "tipo formado en casi cualquier roca cuarzo-feldespática con ferromagnesianos, probablemente en un área de fuerte actividad tectónica, con un zonado de facies de alteración caracterizadas por carbonatización, albitización, desilicificación, sericitización y destrucción textural decrecientes al alejarse de la mineralización de oro nativo diseminado asociado con pirita, arsenopirita, estibina y cantidades menores de otros sulfuros". Este "tipo Salave" (HARRIS, 1980 b) se considera aquí como un caso particular -el más importante por sus reservas, v. Cuadro 4- de yacimientos de oro en granitoides (t. 11), grupo más amplio que incluye también otras concentraciones en las que no se dan algunos de estos rasgos o se dan otros diferentes, como sucede en los indicios de Brués, Carballiño y Tomiño, en los que la deposición de oro se asocia con alteraciones argílica, sericitica o, en el caso particular de Tomiño, con una greisenización muy limitada.

- *Tipo 12: concentraciones mixtas, relacionadas con zonas de cizalla, en granitoides.* Representado por la Mina de Corcoesto, Coruña (GOUANVIC, 1983) y por varios indicios en las

áreas de Fervenza-Santa Comba, Coruña (CASTROVIEJO, 1990 a; GARCIA DEL AMO *et al.*, 1992) y otros (URBANO, 1994). La alteración hidrotermal (sericitica, argílica...) es generalmente intensa (no tanto en Corcoesto) y la mena aurífera, asociada a arsenopirita, sulfuros y sulfosales, se presenta en filones o vetillas de cuarzo. Pueden observarse cloritización y alteración potásica como procesos hidrotermales precursores, posiblemente relacionados, como fenómenos retrógrados, con la historia de deformación de las estructuras. Recientes investigaciones (BOIRON *et al.* y CATHELINEAU *et al.*, 1993) han conducido a un modelo que relaciona la concentración del oro con los eventos finales de una secuencia compleja que culmina en la circulación de fluidos acuosos de baja temperatura y baja salinidad en condiciones cuasi-hidroestáticas, similares a las de un sistema geotérmico. Estos fluidos tardíos, supuestamente responsables de la mineralización aurífera, no tienen por qué ser de origen magmático, sino probablemente meteorico. La relación con rocas graníticas se explicaría por el contraste reológico con el encajante esquistoso. Dicho contraste acentúa el comportamiento frágil de los cuerpos más rígidos (masas graníticas, filones de cuarzo pre-existentes), lo que aumenta su permeabilidad por fisuración y los convierte en lugar preferente de circulación y depósito hidrotermal.

- *Tipo 13: formaciones de skarn con sulfuros.* El depósito de Carlés, Asturias (GARCIA IGLESIAS y LOREDO, 1990; MARTIN-IZARD *et al.*, 1993) está relacionado con una intrusión granodiorítica en calizas devónicas y contiene oro nativo y electrum en lentejones de skarn ricos en cobre y en vetas subordinadas de cuarzo-arsenopirita-calcopirita, con loellingita, pirrotina, etc. El carácter refractario de la mena representa una dificultad para su explotación. Se conocen varios ejemplos en otras áreas del NO de España, como Carracedo (Palencia) o Infiesto (Asturias), y de los Pirineos (Maladeta: LOCUTURA y BELLAN, 1987; área de Andorra: SOLER *et al.* 1990). La probable futura entrada en producción de Carlés corregiría el dato anecdótico de que hasta ahora la única producción de oro en formaciones de skarn españolas procedía, como subproducto, de la mina de hierro de Cala, en el SO de España (Badajoz, fig. 1), situada a escasos kilómetros de distancia del

depósito de oro relacionado con granitoides de Mina Sultana, ahora inactiva.

- *Tipo 13a: formaciones oxidadas con jasperoide.* Este nuevo tipo, cuyo reconocimiento es fruto de los recientes trabajos de exploración de Río Narcea Gold Mines (RNGM), no figuraba en las anteriores tipologías (1994, 1995). Representa el mayor avance en el actual panorama minero del oro español, amenazado por el próximo agotamiento de las reservas de gossan del SO Peninsular, y el único que parece va a dar lugar a una minería relativamente estable, que ya está en fase de producción. Se ha caracterizado (MARTIN-IZARD *et al.*, 1997) en el yacimiento de El Valle (Asturias) por la asociación del oro a facies brechoides y oxidadas (jasperoide), con vetas de calcita y adularia, controladas por sistemas de fracturación tardihercínicos y enriquecidas preferentemente en ciertas litologías (skarn, tipo 13; contactos entre Formaciones Láncara y Oville, carbonatadas y detríticas, Cámbrico M-S). La relación espacial con el tipo precedente (13) suele ser estrecha -tal vez por esta razón no se había diferenciado antes-, pero no exclusiva. El carácter epitermal que suele atribuírsele será comentado más adelante.

- *Tipo 14: filones Sb (As)-Au y otros.* Agrupa diversos indicios o filones, de escaso significado minero en la actualidad. Entre ellos se cuentan los filones Sb-Au o As-Sb-Au en terrenos hercínicos, descritos por diferentes autores en el Máximo Hespérico o en el zócalo de dominios alpinos. Los variados ejemplos incluidos en este grupo -*vbgr.* Valle de Ribes: AYORA *et al.* 1992; Almuradiel: LEAL y CASTROVIEJO, 1990; Usagre: TORNOS y LOCUTURA, 1988; Buron y Villamanín: PANIAGUA *et al.*, 1988 a & b- no necesariamente resultan de los mismos procesos genéticos ni se caracterizan por un idéntico entorno geológico. Su conocimiento es limitado, ya que su exploración no ha despertado excesivo interés. Podrían describirse, en un sentido lato, como concentraciones filonianas o epigenéticas de Sb-Au o As-Sb-Au meso- a epitermales, pero si de futuras investigaciones resultase una caracterización geológica más precisa que así lo exigiese, cabría una subdivisión del grupo en sub-tipos o tipos diferentes. Recientes trabajos (ORTEGA *et al.*, 1995, 1996) relacionan algunas de estas concentraciones con granitoides ocultos.

Las investigaciones realizadas sobre filones auríferos en el Paleozoico inferior (meta-areniscas) de la Zona Asturoccidental-Leonesa (TORNOS *et al.*, 1997) han conducido a su caracterización como filones de cuarzo aurífero pobres en sulfuros, ligados a una tectónica extensional y generados por fluidos de probable derivación metamórfica a diferentes niveles corticales (mesoepizonales), que permiten distinguir siete clases de mineralizaciones. Su posición tectónica, su asociación con rocas detríticas de plataforma afectadas por metamorfismo epizonal y la ausencia de rocas magmáticas son análogas a las de otros ejemplos mundiales (Victoria, Australia, etc.), pero su mayor significado tal vez sea el representar las concentraciones primarias de las que probablemente se han derivado los grandes depósitos detríticos terciarios o paleo-placeres, como Las Médulas (tipo 18).

* Concentraciones de oro, oro-plata u oro-plata-plomo-cinc en la provincia volcánica neógena del SE español. Corresponden a varios tipos epitermales de edad terciaria y están relacionadas con las rocas volcánicas calco-alcalinas que afloran principalmente en la provincia de Almería (fig. 2). Los ejemplos conocidos arman esencialmente en encajante volcánico (*volcanic-hosted*) y son asimilables a los tipos definidos por J.W. HEDENQUIST (1987) o P. HEALD *et al.* (1987): *high-sulphidation* o ácido sulfatado (t. 15) y *low-sulphidation* o adularia-sericitica (t. 16). En encajante no volcánico (*not volcanic hosted*), se han beneficiado Pb (Zn) y Ag, mientras que el oro sólo se ha reconocido como indicio (p. ej. en la Sierra de Lomo de Bas, Aguilas-Mazarrón, Murcia), pero el potencial de la región para este tipo -e incluso para concentraciones de tipo Carlin- es interesante.

- *Tipo 15 (encajante volcánico): epitermal "de alta sulfuración" (high-sulphidation).* Representado por la mina Transacción -que ha tenido una actividad efímera en la última década- y otras del distrito de Rodalquilar, Almería (ARRIBAS *et al.*, 1995 y otras referencias en *ibid.*) Las mineralizaciones están relacionadas con las calderas de Cinto y Lomillas y con su actividad magmática e hidrotermal póstuma (11 a 10 MA), que han dado lugar a alteración intensa y a deposición de oro en vetas y diseminaciones en el encajante volcánico. Las menas de oro nativo y telururos están

controladas por estructuras de colapso (márgenes de caldera, fracturas radiales, brechas, etc.) y asociadas con alteraciones hipogénicas silícica y argílica avanzada. Las asociaciones de alteración definen sucesivamente, a partir de los cuerpos auríferos, las siguientes zonas: silicificación, con formación de sílice oquerosa (*vuggy-silica*), zona argílica avanzada, con alunita-pirofilita, zonas internas filica o sericítica-argílica y externas potásica/propilítica. El indicio de Palaí, Carboneras (al NE del anterior), puede incluirse también en este tipo.

- *Tipo 16 (encajante volcánico): epitermal "de baja sulfuración" (low-sulphidation).* Representado por los yacimientos de Cabo de Gata, Almería (Mina Santa Bárbara, etc), caracterizados (CASTROVIEJO, 1990 c; 1992) como: concentraciones filonianas sulfuradas de plomo-cinc-plata y oxidadas de Mn, con oro asociado y con ganga de cuarzo o calcedonia (+ barita, adularia, carbonatos, sericita y minerales arcillosos), con texturas bandeadas u hojaldradas (*layer-cake*) típicas de relleno hidrotermal, que encajan en volcanitas fuertemente alteradas de un campo de domos andesítico (edad aprox. 12-11 MA), en el que no aflora el sustrato pre-volcánico. La distribución del oro, irregular, constituye hoy el principal objeto de investigación minera. La secuencia de alteración hidrotermal asociada, a partir de los filones, consiste en: silicificación, alteraciones cuarzo-sericítica o filica y argílica, transicional a las asociaciones potásica (adularia) y clorítica o propilítica típicas del encajante. Se observa ocasionalmente una alteración argílica avanzada hipogénica de carácter local. Los abundantes cuerpos de brecha indican una reiterada explosividad ligada a la descarga hidrotermal. Su nivel de formación es más profundo que el observado en Rodalquilar (Cerro Cinto).

- *Tipo 17: encajante no volcánico.* Peor representado que los anteriores. Sin embargo el indicio de Lomo de Bas, con antigua minería, debe ser señalado por su significado para exploración (CASTROVIEJO y NODAL, 1990). Consiste en filones y brechas mineralizados en diversos metales (Au, Ag, Sn, Pb, Zn), que arman en rocas metamórficas paleozoicas de las cadenas béticas, relacionados con pórfidos tonalíticos, desconocidos hasta el momento, pertenecientes a la provincia volcánica neógena del SE español; los rasgos

geológicos, mineralogía, alteraciones, texturas, etc. son típicamente epitermales (CASTROVIEJO *et al.*, 1990).

* Concentraciones auríferas en sedimentos detríticos neógenos y recientes: han sido de importancia estratégica en el pasado, como atestiguan los impresionantes restos de labores mineras, sobre todo en el NO peninsular, donde han sido profusamente trabajados por los romanos (*vbgr.* Las Médulas y Las Omañas, León), pero actualmente no han llegado a dar lugar a ninguna explotación minera de entidad. Por ello, a pesar de su gran interés arqueológico e histórico, serán aquí tratados muy sucintamente.

- *Tipo 18: paleoplaceres, en especial neógenos, y placeres auríferos.* Han sido, en los últimos años, objeto de investigaciones arqueológicas y de trabajos de exploración, sobre todo en el NO de España, por parte de diversas instituciones y compañías, cuya exposición detallada excede de las posibilidades de este trabajo (cf. DOMERGUE, 1970; DOMERGUE y HERAIL 1978; SANCHEZ PALENCIA-RAMOS, 1983; HERAIL, 1984; PEREZ GARCIA y SANCHEZ PALENCIA-RAMOS, 1992, entre otros). Las investigaciones han puesto de manifiesto los controles estratigráficos, sedimentológicos, paleogeográficos, etc. de estas concentraciones auríferas en formaciones detríticas neógenas (abanicos aluviales miocenos, aluviones plio-cuaternarios, etc.) y placeres cuaternarios, así como sus relaciones con las mineralizaciones primarias del zócalo (TORNOS *et al.*, 1997). Se han avanzado también estimaciones (SANCHEZ PALENCIA-RAMOS, 1983), según las cuales la producción de los depósitos detríticos en tiempos romanos ascendería a unas 34 t de oro, frente a las 170 t. obtenidas de yacimientos primarios del zócalo (en total, algo más de 200 t. extraídas para el Imperio Romano en Asturias, León y Galicia, de las cuales en torno al 17 % serían del tipo detrítico y el 83 % restante de los tipos 10 a 14).

* Depósitos de metales preciosos en formaciones de gossan:

- *Tipo 19: Concentraciones supergénicas en masas de gossan derivadas de los sulfuros masivos (t. 9).* Ejemplos típicos son las minas de Río Tinto, Tharsis/Filón Sur y La Lapilla (Huelva). Su investigación ha conducido a un reconocimiento completo de las reservas y a una clasificación de

los cuerpos de gossan, distinguiendo diversas formaciones productivas de gossan autóctono y una estéril de gossan transportado (cf. GARCIA PALOMERO *et al.*, 1986). El resultado fue el mayor incremento de la producción española de oro y plata de los años recientes (hasta el 60 % de la producción de la UE, con 7 t/año), pero actualmente están a punto de agotarse.

SIGNIFICADO PARA EXPLORACION

Muy sucintamente, los resultados de exploración recientes podrían resumirse en un éxito matizado con respecto al oro, modesto con respecto a la plata y nulo con respecto a los EGP, si se considera únicamente el valor minero de las reservas económicas. No obstante, no deben valorarse sólo los resultados económicos inmediatos, sino también las aportaciones científicas y técnicas que puedan suponer un avance para el futuro. En trabajos anteriores (CASTROVIEJO, 1994a, 1994b) se comentó la actividad previa, ahora se comentarán únicamente algunos datos más relevantes del período más reciente.

Como tendencia, destaca para el oro la transferencia del primer puesto en la actualidad minera de los yacimientos tipo gossan de la Faja Pirítica Ibérica (t.19), explotados intensivamente desde los años ochenta pero ya en vías de agotamiento, a los recientemente investigados yacimientos de skarn (t. 13) y asociados a formaciones oxidadas con jaseroide (t. 13 a), como los del conjunto Río Narcea. El centro de gravedad se ha desplazado, geográficamente, de Huelva a Asturias. El cuadro 2 es elocuente en este sentido: la comparación de las reservas actuales del tipo 19, unos 10 Mt totales estimadas, con las de 1986 (100 Mt, GARCIA PALOMERO *et al.*, 1986, sólo para Río Tinto) indica claramente el proceso de agotamiento del gossan aurífero de la Faja Pirítica, frente al incremento de reservas –todavía abierto– y producción de los tipos 11-13 / 13a en Asturias.

Sin embargo, si bien de la exploración por oro de los sulfuros masivos (t. 9) no ha resultado la apertura de ninguna nueva operación minera (Au) en la Faja Pirítica y aunque la caída de los precios de diciembre 1997 ha representado un duro golpe para los trabajos en curso, la investi-

gación mineralúrgica continuada de estas menas refractarias podría dar lugar a desarrollos futuros, sobre todo teniendo en cuenta la cuantía de las reservas (Cuadro 2).

Globalmente, España pasó de producir unas 7 t Au y 270 t Ag (en torno al 60 % del total de la UE para ambos metales) durante la primera mitad de los años 90, fundamentalmente extraídos del gossan de Río Tinto y Filón Sur (Huelva), a un lugar mucho más modesto en la actualidad. Modesto, pero con expectativas de futuro, una vez que ha comenzado la producción de Río Narcea, unida a una activa exploración, en primer lugar en los cuatro "cinturones de oro" definidos en Asturias (Navelgas, Oscos y Salave, además del actualmente explotado de Río Narcea), pero también en otras áreas. Efectivamente, entre los resultados de las investigaciones realizadas habría que valorar la extensión del potencial minero de ciertas áreas o tipos (cf. CASTROVIEJO, 1994 a), sobre los que todavía no se ha realizado una exploración sistemática, pero que sí han sido identificados, *vbgr.* los cuerpos epitermales relacionados con el volcanismo neógeno calcoalcalino del SE Peninsular y, en particular, su posible extensión a una amplia zona al NE de los actualmente conocidos.

Con respecto a la plata, aunque ha habido éxitos de exploración (Fuenteheridos, Aracena, Huelva; Mazarrón, Murcia), no se ha llegado a la explotación por el momento, por razones medioambientales o administrativas.

Con respecto al platino y EGP, no se han superado las dificultades inherentes a la exploración de este tipo de concentraciones, a pesar de diversos intentos y de la evidencia de enriquecimientos locales apreciables (varios ppm, a veces asociados a oro), tanto en el Macizo de Herbeira (Cabo Ortegal, Coruña, t. 1 y 3), como en la Serranía de Ronda (t. 2 y 3).

Por otra parte, desde una perspectiva más amplia y más allá de los datos de producción a corto plazo, los trabajos realizados y todavía en curso han desembocado en un conocimiento más profundo de la metalogenia del oro –que de alguna manera se ha tratado de reflejar en la tipología presentada– y en el desarrollo de técnicas de exploración o mineralúrgicas más refinadas,

cuyo fruto sólo podrá juzgarse en el futuro. Entre ellas, el reconocimiento del control tectónico sobre la concentración del oro (GOUANVIC *et al.*, 1981; GUTIERREZ-CLAVEROL *et al.*, 1991; ROBERTS *et al.*, 1991, entre otros), la investigación y desarrollo de nuevos métodos de exploración geotérmica específicos para masas metálicas profundas (GABLE *et al.*, 1997; CASTROVIEJO *et al.*, 1996), la aplicación del análisis fractal (SANDERSON *et al.* 1994; GUMIEL *et al.*, 1996) y los ensayos de aplicación de la biolixiviación para menas refractarias (ILARRI y GARCIA, 1995). El aspecto científico, base de la exploración minera, se comenta a continuación, sin olvidar los problemas todavía no resueltos.

METALOGENIA

En apartados anteriores, se ha intentado sintetizar, mediante la descripción tipológica, lo esencial de las aportaciones recientes, de diversos autores y entidades, a la Metalogenia de los metales preciosos en España. La comparación —cf. CASTROVIEJO 1994 a— con las ideas existentes hace poco más de una década (ITGE, 1984 a) permite apreciar el avance. Interesa ahora discutir algunos problemas planteados para ulteriores investigaciones.

Desde el punto de vista de la Metalogenia, no se ha resuelto todavía de forma completa el problema de la interpretación y modelización de las concentraciones auríferas conocidas en terrenos hercínicos (tipos 10 a 14). Aunque existen interesantes precedentes (BOUCHOT *et al.*, 1997) en otros ámbitos hercínicos, ha de reconocerse que no es un problema fácil ni ha sido resuelto tampoco en casos similares, que por su enorme significado minero han recibido mucha más atención, *vbgr.* las concentraciones *gold-only* filonianas, en *greenstone belts* precámbricos, para las que se han avanzado diversas interpretaciones (origen metamórfico, fluidos de origen meteórico, etc. incluso se las ha considerado como concentraciones pre-cámbricas, análogas a las volcanogénicas epitermales metamorizadas).

La investigación de los fluidos responsables del transporte del oro es una de las vías más fructíferas para limitar las variables del problema. Pero también ilustra las dificultades: dada la escasa

solubilidad del metal, los volúmenes de fluidos implicados en el transporte de un tonelaje importante de oro son necesariamente muy grandes; el detectar cuáles han sido exactamente los fluidos auríferos, entre los muchos posibles en circulación, es ya una primera cuestión cuya respuesta pocas veces es evidente. Los contenidos en oro de los fluidos productivos son suficientemente bajos (ppb) para ser difícilmente detectables cuando sólo quedan vestigios, *vbgr.* en inclusiones fluidas. El demostrar la relación real de una familia de inclusiones fluidas con la precipitación del oro es una tarea ardua, cuando no imposible.

Según ciertas estimaciones (ROEDDER, 1984) la totalidad del oro producido hasta entonces por la humanidad, unas 87.000 toneladas, podría ser transportado por 30.000 Km³ de fluido, con contenidos de 3 ppb Au. Dicho volumen de fluido podría estar contenido, como impregnación en poros, en las rocas de una cuenca sedimentaria de 100 Km x 300 Km de superficie y 10 Km de potencia, con 10 % de porosidad supuesta. Ahora bien, las 87.000 t. de oro citadas suponen únicamente el 2'3 % del Au total presente en las rocas de la cuenca. Ello ilustra la plausibilidad de la removilización (extracción y transporte del metal contenido en rocas preexistentes, para precipitarlo en un nuevo depósito) como proceso de concentración del oro, ya que sería suficiente con movilizar y reprecipitar únicamente el 2'3 % del metal contenido (sin afectar al 97'7 % restante) para obtener el tonelaje citado.

Tiene, por tanto, una base lógica la interpretación clásica de los yacimientos citados de zona de cizalla en *greenstone belts* precámbricos como metamórficos, fruto de la removilización del oro contenido en diversas litologías, por fluidos asociados a las reacciones normales de deshidratación del metamorfismo regional. Sin embargo, aun aceptando el mismo principio de removilización, no es éste el único mecanismo posible. Se ha objetado, por ejemplo, que el volumen de fluidos movilizados durante la compactación y diagénesis es mayor que el que puede esperarse de la deshidratación metamórfica, lo que podría hacer esperar una movilización más efectiva por dichos procesos; o que puede haber procesos post-metamórficos que movilicen igualmente gran cantidad de fluidos, como la infiltración de

aguas meteóricas y su circulación en campos geotérmicos, la movilización por el efecto térmico de intrusiones posteriores, etc. Las interpretaciones más recientes conducen a modelos complejos, en los que pueden intervenir diversos fluidos y diversas fuentes, implicando grandes sistemas hidrotermales a escala cortical, como en el modelo de *crustal continuum* (GROVES, 1993), aplicable a distintos niveles de la corteza y combinando fuentes mantélicas o infracrustales —reequilibradas con materiales metamórficos— con la derivación posible de granitoides, los aportes de fluidos de deshidratación metamórfica e incluso la interacción con aguas superficiales. La diferenciación efectiva entre los procesos posibles sólo podrá hacerse, entre otras cosas, determinando con precisión edades, composiciones y condiciones físico-químicas de los fluidos implicados, **una vez que se haya demostrado** su relación directa con la génesis de la mineralización aurífera, lo que dista de ser fácil.

Por lo que respecta a los tipos relacionados con zonas de cizalla, la fig. 4 esquematiza tres modelos propuestos para concentraciones hercínicas europeas. En I, II y III se esboza su anatomía (t. 10, Fervenza), en evolución desde la deformación dúctil general de la zona de cizalla (I) hasta los sucesivos episodios frágiles (detalles: II, III), con relleno hidrotermal y brechificación, en cada caso, de las estructuras y filones precedentes, tal como se observan en el prototipo descrito en el texto (minas de Santa Comba-Fervenza). Dentro de este marco geológico, se han propuesto varias interpretaciones basadas en diversas concepciones sobre la cronología de la introducción del oro. Antes de pasar a discutir las, debe advertirse que más que oposición existe una cierta complementariedad entre ellas: se acentúa más o menos uno u otro de los procesos posibles, sin que ello implique la exclusión total de los demás (*vbgr.* el suponer una deposición tardía del oro no implica que no exista ninguna concentración previa).

Según el modelo (A) propuesto por M. BONNEMAISON y E. MARCOUX (1987) para yacimientos hercínicos franceses, habría un primer estadio (A. 1) de introducción del oro, que se pre-concentraría como diseminación no visible en la red de los sulfuros (pirrotita); en un estadio ulterior (A. 2), dichos minerales serían inestables, el oro pasaría a disolución y precipitaría ahora en

estructuras filonianas con relleno cuarzo-sulfurado, como oro nativo asociado a sulfuros.

En (B) se recoge la sucesión reiterada, sobre una previa estructura dúctil, de estadios de deformación frágil, circulación y relleno hidrotermal (descritos por el autor, 1990 a, en las concentraciones de Fervenza citadas): la acumulación de oro se incrementaría, cíclicamente, con los sucesivos aportes hidrotermales. Dicha interpretación, que tiene similitudes con modelos propuestos para yacimientos precámbricos en *greenstone belts* —*vbgr.* por C. J. Hodgson, para el *Abitibi Belt*, en Quebec, Canadá—, se basa en la evidencia de ciclos sucesivos de cataclasis y relleno y en la relación del oro nativo con sulfuros de cualquier ciclo, mientras que no se ha podido constatar la existencia de sulfuros tempranos pre-enriquecidos, con oro en su red, ni la de un ciclo tardío esencial para el aporte aurífero.

En C se representa una lámina rígida, en este caso granítica, afectada por cizalla, cuya permeabilidad realizada por el fuerte contraste reológico con el encajante la haría lugar preferente de circulación y depósito hidrotermal para fluidos acuosos auríferos, no necesariamente magmáticos ni metamórficos; según dicho modelo, (BOIRON *et al.*, 1993, CATHELINEAU *et al.*, 1993), ya comentado (t. 12), estos fluidos podrían ser meteóricos y la introducción del oro se produciría esencialmente en un episodio tardío.

Este último modelo tiene similitud con el más general propuesto por M. CATHELINEAU *et al.* (1991) para los yacimientos hercínicos europeos, como alternativa al citado (A) y se apoya, entre otros argumentos, en la dificultad de demostrar pre-concentraciones cuantitativamente significativas en el estadio precoz (A.1). En el caso de las mineralizaciones ibéricas, se basa en el estudio detallado de varios ejemplos del tipo 12. Una cuestión interesante sería el estudio, con los mismos criterios, de los tipos 10 y 11. En el primero (t. 10), P. J. MURPHY y S. ROBERTS (1997), tras estudiar diversas concentraciones de la Zona Centro-Ibérica de España y Portugal, concluyen en el papel primordial del metamorfismo, como agente de la lixiviación y transporte del oro, posteriormente precipitado en niveles más someros, gracias a la existencia de trampas estructu-

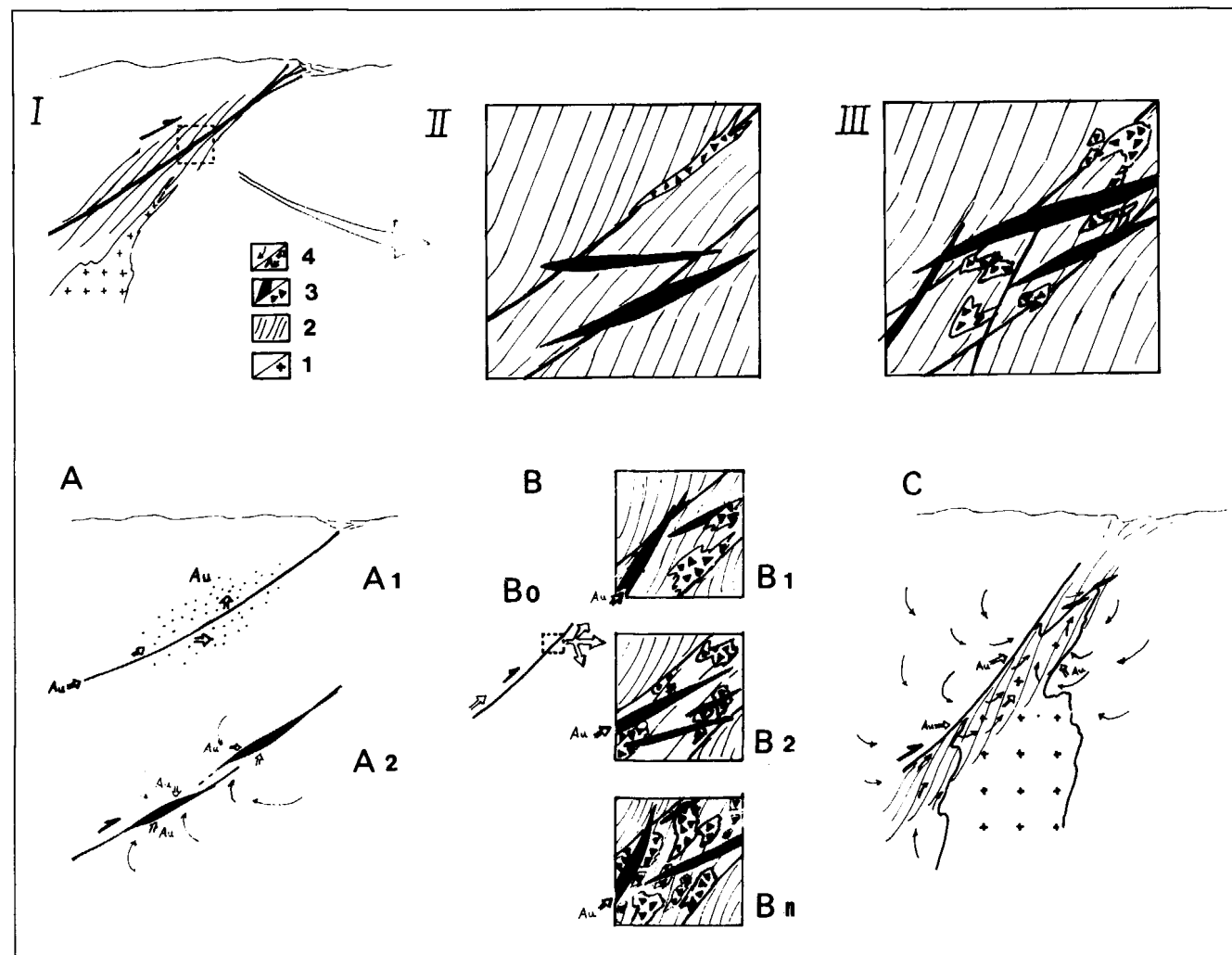


Figura 4.- Sección esquemática idealizada, indicando anatomía de concentraciones auríferas en zonas de cizalla de terrenos metamórficos hercínicos, tal como se observan en el área Santa Comba-Fervenza (ubicación: SCF, en fig. 3): I) croquis general; II-III) detalles de la zona señalada, en sucesivos estadios de su evolución (aunque sólo se representan dos, el número es indefinido).

A, B, C) distintas hipótesis interpretativas, con respecto al aporte aurífero. A) Preconcentración de oro diseminado en una primera fase (A.1) y su posterior removilización (A.2) y depósito en las estructuras definitivas. B) Sucesivos estadios de cataclasis y circulación hidrotermal con aporte aurífero, controlados por una gran estructura de cizalla (B.0), con representación en detalle de los estadios de deformación frágil o dúctil-frágil: B.1, B.2,...B.n. C) Concentración tardía por disoluciones acuosas de posible origen meteórico, que circulan preferentemente por cuerpos rígidos intensamente fracturados (en este caso una lámina granítica).

Explicaciones y discusión en texto.

Leyenda: 1) Rocas metamórficas/granitoides. 2) Esquistosidad. 3) Filones/brechas. 4) Líneas de flujo hidrotermal/aporte aurífero.

rales, según el modelo *crustal continuum* de GROVES (op. cit.).

Asimismo, F. TORNOS et al. (1997) interpretan como metamórficos –o equilibrados con rocas metamórficas, consideradas también como la fuente de los metales– los fluidos relacionados con los filones de cuarzo aurífero de la Zona

Astur-Occidental Leonesa. Los problemas no están cerrados. Entre los muchos pendientes, habría de mencionarse la investigación y definición precisa de los muchos indicios agrupados en el *tipo 14*, la cual podría conducir, como se ha señalado, a nuevos conocimientos y a una revisión de este grupo. Nuevos modelos significativos –vbgr. PANIAGUA, 1994; JAHODA et al.,

1989-podrían caracterizar nuevos subtipos o incluso tipos, si se desarrollasen las exploraciones pertinentes.

Otra cuestión esencialmente relacionada con la tipología es la definición más precisa del concepto *epitermal* y su caracterización, cuestión relevante en cuanto a la supuesta existencia de yacimientos epitermales (*s.str.*) paleozoicos en España. Este término es sin duda aplicable a los yacimientos neógenos citados de la provincia volcánica calco-alcálina del SE español (t. 15 a 17), en correspondencia con tipos mundialmente conocidos. Su aplicación a ciertos depósitos del Macizo Hespérico (vbgr. Hiendelaencina, varios indicios en el NO de España, etc.: tipos 4 y 14 del Cuadro 1), en cambio, ha sido en algún caso contestada. Lo mismo podría decirse del tipo 13 a, cuando es presentado como epitermal.

Sería más fácil llegar a un acuerdo si cada autor hiciese un esfuerzo para definir exactamente lo que entiende bajo tal concepto cuando lo aplica a un yacimiento. De hecho el término parece haberse vuelto bastante equivoco en la literatura. Para algunos –es la opción del autor– implica un modelo o tipo precisamente definido (vbgr. *low- o high-sulphidation*) de yacimientos en terrenos volcánicos, en la acepción actual generalizada en América y en general en el mundo anglosajón, pero para otros equivale a un rango de condiciones físico-químicas ambiguas, aparentemente independientes del entorno geológico, que comprenden incluso yacimientos plutónicos, en un sentido clásico europeo (Niggli, Scheneiderhöhn)⁶. Por otra parte, actualmente se tiende incluso a separar los yacimientos de tipo Carlin del grupo epitermal (*s. str.*).

La caracterización del entorno geológico, la investigación geoquímica precisa de los fluidos implicados en cada caso y su comparación con fluidos epitermales típicos podría ayudar a resolver el problema, teniendo en cuenta, como referencia, las rigurosas caracterizaciones ya

⁶ Es un ejercicio interesante el comparar el esquema de estos autores (cf. fig. 2, en CASTROVIEJO, 1995a), que sitúa los yacimientos epitermales entre los plutónicos y no entre los volcánicos, con la fig. 4 de P. HEALD et al. (1987), que presenta las características de los yacimientos epitermales en el sentido moderno aludido, ubicándolos exclusivamente en terrenos volcánicos

existentes (vbgr. HEDENQUIST, 1987; HEALD et al., 1987; WHITE y HEDENQUIST, 1990), de prototipos bien establecidos a nivel mundial. También puede ser una ayuda eficaz la definición rigurosa de las texturas de la ganga cuarzosa, que en ambientes epitermales están bien caracterizadas, tal como se ha puesto de manifiesto en diversos yacimientos mundiales y, en el caso de España, en el distrito de Cabo de Gata (DEMOUSTIER et al., este volumen: clasificación y definición sistemáticas de las texturas del cuarzo epitermal y los problemas de interpretación que éstas plantean). R. SILLITOE (1993) propone incluso, entre otros datos de campo, la caracterización de la ganga silíceas y sus texturas, como criterio distintivo entre tipos epitermales.

Las nuevas propuestas en la literatura internacional apoyan la restricción del término epitermal en el sentido planteado anteriormente por el autor (1994 a, 1995 a, -b). Es interesante la crítica de M. GEBRE-MARIAM et al. (1995) al uso indiscriminado de dicho término en ambientes metamórficos, no volcánicos, como alternativa a mesotermal. En lugar de esta dudosa alternativa, generadora de confusión, proponen, para la clasificación de yacimientos auríferos en terrenos metamórficos, el recurso a términos coherentes con la tradición geológica en dichos ambientes (recogiendo los conceptos de zonas de profundidad metamórfica de Grubenmann y de profundidad de emplazamiento plutónico, de Taylor), distinguiendo yacimientos: *epizonales* (o someros, p. ej., los de facies prehnita-pumpellyita a esquistos verdes), *mesozonales* (los clásicos “mesotermales”) e *hipozonales* (o profundos, en terrenos anfíbolíticos o granulíticos). Esta clasificación, coherente con modelos de amplia aceptación como el de *crustal continuum*, al aplicar una terminología capaz de admitir el amplio abanico real en las condiciones de profundidad / P-T posibles en dicho modelo, fue definida inicialmente para yacimientos arcaicos, pero nada impide admitirla también para los paleozoicos. Se propone, pues, su aplicación, como un intento de precisión terminológica útil también para los ejemplos europeos, reservando el término epitermal para el importante grupo de depósitos antes citados y que al menos son sin-volcánicos. En este sentido, la clasificación propuesta sería compatible también con otros modelos amplios, como el de *gold deposit continuum* (NESBITT,

1988), basado en la convección a diferentes profundidades de aguas de origen meteórico, que podría generar, a distintos niveles corticales, diferentes tipos de concentraciones.

CONCLUSIONES

La exploración minera desarrollada en España por diversas instituciones y empresas en los últimos años ha conducido a una serie de resultados a valorar. Su análisis se ha abordado desde dos perspectivas complementarias: la del progreso con respecto al pasado, a la situación anterior, y la de las tareas pendientes para el futuro. Tal como ha sucedido en la realidad minera, se presta al oro especial atención.

* Desde el primer punto de vista, los trabajos realizados en los últimos años han permitido el reconocimiento de tipos hasta entonces no bien definidos en la Península Ibérica, tales los ligados a zonas de cizalla y otros en terrenos hercínicos (t. 10 a 12) o los distintos tipos (8 y 15 a 17) epitermales de la provincia volcánica neógena del SE español y, más recientemente, los ligados a skarn y a formaciones oxidadas con jasperoide (t. 13, 13 a). Los nuevos conocimientos obligan a revisar tipologías anteriores. En el Cuadro 1 se ofrece, en sumario, una caracterización tipológica actualizada, incorporando el progreso reciente. Dicha tipología se expone mediante el análisis de yacimientos típicos y se completa con una estimación de reservas (Cuadro 2), para ilustrar el significado minero de cada tipo. Se establecen, en primer lugar, nueve grandes grupos en función del principal metal precioso beneficiado - **platino y EGP** o elementos del grupo del platino, **plata y oro**- y del entorno geológico, en el contexto de las grandes unidades geo-estructurales de la Península Ibérica. Dichos grupos se subdividen en 20 tipos, los cuales son caracterizados individualmente. La discusión de problemas genéticos, aun no totalmente resueltos, no impide la clasificación rigurosa de las concentraciones de metales preciosos, sobre una base descriptiva. Por otra parte, se aportan propuestas para una terminología pertinente de las concentraciones en terrenos metamórficos, que evite confusiones con las epitermales (*s. str.*), vbgr. mediante el uso de una clasificación coherente con la geología de terrenos metamórficos (distin-

guiendo concentraciones *epizonales, mesozonales, hipozonales*).

Desde el punto de vista industrial, los resultados de exploración han conducido a una evolución en la minería española de metales preciosos (oro, plata), cuyo centro de gravedad se desplaza de la Faja Pirítica (gossan, t. 19) al *cinturón aurífero del Río Narcea* (Asturias), con la entrada en producción de explotaciones como El Valle (concentraciones de skarn y jasperoide, t. 13 a) y la previsión de otras próximas. Este éxito de RNGM (*Río Narcea Gold Mines*) se debe a la activa exploración realizada, que además del *cinturón* citado se ha extendido a otros tres (Navelgas, Oscos y Salave), definidos en la misma región.

Otros intentos han resultado efímeros -vbgr. Mina Transacción, Almería, t. 15- o no han podido alcanzar la fase de desarrollo minero, ya sea por problemas ambientales (Fuenteheridos, Huelva, t. 5) o administrativos (Mazarrón, Murcia, t. 8), ya por dificultades técnicas todavía no superadas (extracción del oro de menas refractarias: La Zarza, t. 9, en la Faja Pirítica, que hubiera podido ser pionera en la explotación por oro de sulfuros masivos).

* Con respecto al futuro, es de destacar que, como suele ocurrir, cada logro o avance ha formulado nuevos problemas. Entre éstos, destaca la mineralurgia de las menas refractarias, factor clave para el beneficio de varios yacimientos, algunos de ellos relativamente importantes, como los de la Faja Pirítica (Cuadro 2, t. 9).

Se han definido indicios epitermales con Au-Ag (ej. Lomo de Bas, Murcia, t. 17) ligados a pórfidos neógenos, no reconocidos hasta entonces, intrusivos en terrenos metamórficos hercínicos, lo que extiende el área con potencial para exploración de este tipo a una amplia región del SE peninsular. Resta ahora el reconocimiento en profundidad de dicho potencial, para lo cual la teledetección, de eficacia probada en el hallazgo citado, puede ser una herramienta útil.

Se han establecido los controles mayores de los yacimientos ligados a zonas de cizalla (t.10 y 11) y otros en terrenos metamórficos, se ha establecido la tipología de las concentraciones epitermales, vbgr. en Rodalquilar (t.15) y en Cabo de

Gata (t.16), pero, aparte los resultados de RNGM, todavía no se ha logrado definir en detalle controles y guías que permitan establecer con precisión minera los tonelajes y reservas definitivas de distintos distritos.

Es de esperar que, a pesar de las duras condiciones de mercado actuales, las investigaciones de RNGM, principal motor de la exploración por oro reciente, puedan consolidar, a partir de los *cinturones auríferos* asturianos, la ampliación de reservas prevista, y asegurar la supervivencia de la minería del oro.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Prof. J. A. Espí, Depto. de Ingeniería Geológica., ETSI Minas, UPM, su contribución a la actualización de los datos de reservas (Cuadro 2).

REFERENCIAS

- ARRIBAS A. JR., CUNNINGHAM C.G., RYTUBA J.J., RYE R.O., KELLY W.C., PODWYSOCKI M.H., MCKEE E.H., TOSDAL R.M. (1995) Geology, Geochronology, Fluid Inclusions and Isotope Geochemistry of the Rodalquilar Gold Alunite Deposit, Spain. *Economic Geology*, Vol. 90, nº 4, pp. 795-822.
- AYORA C., RIBERA F., CARDELLACH E. (1992) The Genesis of the arsenopyrite gold veins from the Vall de Ribes district, eastern Pyrenees, Spain. *Econ. Geology*, 87, 1877-1896.
- BACHE J.J. (1981) Les gisements d'or dans le monde. Essai de typologie quantitative. *Mémoire du BRGM*, Nº 118, 102 p.
- BOIRON M.C., ESSARRAJ S., BARAKAT A., CASTROVIEJO R., CATHELINÉAU M., NORONHA F., NOGUEIRA P., YARDLEY B., BANKS D., MARIGNAC C., PEREIRA E., URBANO R., FLORIDO P., GARCIA PALOMERO F. (1993) P-V-T-X changes throughout the formation of intragranitic Au concentrations in the north-western Iberian Massif (Spain-Portugal): an integrated Fluid Inclusion study. In: Fenoll Hach-Ali, Torres Ruiz & Gervilla (eds.) *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits*, SGA Meeting, Granada Univ. (ISBN 84-338-1772-8), p. 605-608.
- BONNEMAISON M., MARCOUX E. (1987) Les zones de cisaillement aurifères du socle hercynien français. *Cron. rech. min.* 488, p. 29-42.
- BOUCHOT V., MILESI J-P., LESCUYER J-L., LEDRU P. (1997) Les minéralisations aurifères de la France dans leur cadre géologique autour de 300 Ma. *Chron. Rech. min.*, 528, pp. 13-62.
- BOYLE R.W. (1979) *The Geochemistry of Gold and its*

Deposits. (together with a chapter on geochemical prospecting for the element). *Geol. Survey of Canada, Bull.* 280, Ottawa, 584 p.

BOYLE R.W. (1980) *Gold Deposits: Their geological and geochemical setting. Episodes*, vol. 1980, nº 3, Ottawa, pp. 8-14.

BOYLE R.W. (1987) *Gold. History and Genesis of Deposits*. V. Nostran Reinhold, N. York, 676 p.

CASTROVIEJO R. (1990a) Gold ores related to shear zones, West Santa Comba-Fervenza Area (Galicia, NW Spain): A mineralogical study. *Mineral. Deposita* 25 [Suppl], S42-52.

CASTROVIEJO R. (1990b) Paragénesis argentíferas de Guadalcanal (Sevilla). X Reunión S.E.M., Oviedo, 4-6 Jul. 1990; abs: *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, v. 13-1, p. 98-99.

CASTROVIEJO R. (1990c) Síntesis de estudios realizados en el área mineralizada del Cabo de Gata (1989/90). *Informes ETSIM*, E.N. Adaro, Madrid.

CASTROVIEJO R. (1992) Ore geology of the Santa Bárbara Pb-Ag and Au district (SE Spain). *Min. Dep. Study Group, Ann. Meeting, Univ. Aberdeen (U.K.)*, 6-7 Jan. 1992 (abs. vol.).

CASTROVIEJO R. (1994a) Precious metals geology and exploration in Spain: progress and questions. *Chron. Rech. Minière*, nº 516, 1994, pp. 3-24.

CASTROVIEJO R. (1994b). *Geología de Metales Preciosos. Una Década de Exploración en España*. Soc. Geol. Del Perú, vol. extraordinario; VIII Congr. Peruano de Geología, Lima, 1994, p. 1-45.

CASTROVIEJO R. (1995a): Propuesta de caracterización tipológica de yacimientos españoles de metales preciosos. *Geogaceta*, nº 18, 1995, p. 157-160.

CASTROVIEJO R. (1995b) A Typological Classification of Spanish Precious Metals Deposits. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe, Coruña*, Vol. 20, p. 253-279.

CASTROVIEJO R., MORENO F. (1983) Estructura y metalogénia del campo filoniano de Cierco (Pb-Zn-Ag), en el Pirineo de Lérida. *Bol. Geol. y Minero*, t.XCIV-IV, p. 291-320.

CASTROVIEJO R., NODAL T. (1990b) The exploration significance of Neogene epithermal Au-Ag-Sn-Base Metal Veins and related Porphyry System in Palaeozoic Metamorphic Terranes (Murcia, SE Spain). *Min. Dep. Study Group, Ann. Meeting, Trinity Coll. Dublin*, 10-13 dec. 1990 (abs. vol.).

CASTROVIEJO R., NODAL T., PODWYSOCKI M.H., INSUA M. (1990a) Mineralizaciones subvolcánicas (Au-Ag-Sn-Sulfuros polimetálicos) y hallazgo de pórfidos tonalíticos neógenos en la Sierra de Lomo de Bas (Murcia). X Reunión Soc. Esp. Mineralogía, Oviedo, 4-6 Jul. 1990. *Publ. Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 14 (1991), p. 183-200.

CASTROVIEJO R., GABLE R., CUETO R., FOUCHER J.C., SOLER M., GOUNOT J., BATSALE J.C., LOPEZ A., JOUBERT M. (1996) Ensayo de una metodología innovadora para la detección de menas polimetálicas profundas: modelo geoló-

gico y exploración geotérmica preliminares de la Masa Valverde (Huelva). Bol. Geol. Minero, vol. extr. 107, nº 5/6, nov./dic. 1996, p. 5-30, ITGE, Madrid.

CATHELINEAU M., BOIRON M.C., POTY B., MARIGNAC C. (1991) Hercynian gold-bearing quartz veins from western Europe: The "shear zone model" revisited. A.E. Ladeira (ed.) in: BRAZIL GOLD'91 Balkema, Rotterdam, pp. 115-119.

CATHELINEAU M., BOIRON M.C., ESSARRAJ S., BARAKAT A., GARCIA PALOMERO F., URBANO R., TOYOS J.M., FLORIDO P., PEREIRA E.S., MEIRELES C., FERREIRA N., CASTRO P., NORONHA F., DORIA A., RIBEIRO M.A., BARRIGA F., MATEUS A., YARDLEY B., BANKS D. (1993) Major structural factors of Au concentrations in the northwestern Iberian Massif (Spain-Portugal): a multidisciplinary and multiscale study. In: Fenoll Hach-Alí, Torres Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology Applied to Ore Deposits, SGA Meeting, Granada Univ. (ISBN 84-338-1772-8), p. 613-616.

CONCHA A., OYARZUN R., LUNAR R., SIERRA J., DOBLAS M., LILLO J. (1992) The Hiendelaencina epithermal silver-base metal district, Central Spain: Tectonic and mineralizing processes. Mineral Deposita 27, 83-89.

CONCHA A., OYARZUN R., LUNAR R., SIERRA J., DOBLAS M., LILLO J. (1993) Reply to the comment by F. Tornos et al. (1993) Mineral. Deposita 28, 219-221.

COTELO NEIVA, J.M. (1949) Geology and genesis of Portuguese ores of chromium and platinum, Bragança district. Coimbra Univ. Mus. e Lab. Min. e Geol., Mem. e Noticias, Nº 24, 289 p.

CRESPO V. (1988) Panorama actual de la investigación minera del oro (jun. 1987). Bol. Soc. Esp. Min., 11-1, 3-16.

DEMOUSTIER A., CASTROVIEJO R., CHARLET, J.M. (1998) Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería. Bol. Geol. y Minero, Vol. (doble) extr. 109-5: "El Oro en España".

DOMERGUE C. (1970) Les exploitations aurifères du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique sous l'occupation romaine. VI Congr. Int. Minería, León, Cátedra de San Isidoro, 1, p. 155-181.

DOMERGUE C., HERAIL G. (1978) Mines d'or romaines d'Espagne. Le district de la Valduerna (León). Publ. Univ. Toulouse, serie B, t. IV, 303 p.

GABLE R., CASTROVIEJO R., CUETO R., BATSALE J.C., FOUCHER J.C. (1997) Geothermics: a new BMS exploration tool. Pp. 941-944, in: Pappunen H. (eds. 1997), Mineral Deposits: Research and Exploration – Where do they meet? Balkema, Rotterdam, 980 p.

GARCIA DEL AMO D., LUNAR R., SIERRA J., OYARZUN R., DOBLAS M. (1992) La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo. Bol. Geol. Minero, v. 103-1, pp. 109-119.

GARCIA IGLESIAS J., LOREDO J. (1990) Geological, mineralo-

gical and geochemical characteristics of the Carlés gold mineralization, Asturias, Spain. Mineral. Deposita, 25, p.53-58.

GARCIA PALOMERO F., BEDIA J.L., GARCIA MAGARIÑO M., SIDES E.J. (1986) Nuevas Investigaciones y trabajos de evaluación de reservas de gossan en Minas de Río Tinto. Bol. Geol. Minero, t. XCVII-V, p. 622-642.

GEBRE-MARIAM M., HAGEMANN S.G., GROVES D.I. (1995) A classification scheme for epigenetic Archaean lode-gold deposits. Mineral. Deposita 30, 408-410.

GERVILLA F., LEBLANC M. (1990) Magmatic ores in high-temperature alpine-type Iherzolite massifs (Ronda, Spain and Beni-Boussera, Morocco). Econ. Geol., 85, p. 112-132.

GOUANVIC Y. (1983) Métallogénèse à Tungstène-Etain et Or dans le linéament granitique de Monteneme -Nord-Ouest Galice, Espagne-: un exemple d'évolution dans une zone de cisaillement ductile hercynienne. Thèse Univ. Nancy I, 249 p.

GOUANVIC Y., COURRIOUX G., OVEJERO G. (1981) Contrôle structural de la répartition des indices d'or filoniens du Nord-Ouest de la Péninsule Iberique. Cuad. Geol. Ibérica, v. 7, p. 353-367.

GROVES D.I. (1993) The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. Min. Deposita, 28, 6, p. 366-374.

GUMIEL P., CAMPOS R., HERNANDEZ J.R. Y PAREDES C. (1996). Características de la geometría fractal de varios sistemas filonianos mineralizados del Macizo Hespérico. Su aplicación a la prospección. Parte 1: Mineralizaciones de oro. Geogaceta 20 (6), pp. 1397-1400.

GUTIERREZ-CLAVEROL M., MARTINEZ-GARCIA E., LUQUE C., SUAREZ V., RUIZ F. (1991) Gold deposits, Late Hercynian tectonics and magmatism in the northeastern Iberian Massif (NW Spain). Chron. Rech. Minière, Nº. 503, p. 3-13.

HARRIS M. (1980 a) Gold mineralization at the Salave gold prospect, northwest Spain. Trans. Inst. Mining Metall. Feb. 1980, Sect. B, p. 1-4.

HARRIS M. (1980 b) Hydrothermal alteration at Salave gold prospect, northwest Spain. Trans. Inst. Mining Metall. Feb. 1980, Sect. B, p. 5-15.

HEALD P., FOLEY N., HAYBA D. (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. Econ. Geol., 82, p. 1-26.

HEDENQUIST J.W. (1987) Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. In M.K. Horn (ed.) Trans. 4th. Circum-Pacific Conference on Energy and Resources.

HERAIL G. (1984) Géomorphologie et gîtologie de l'or détritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne. Editions du CNRS, Toulouse.

I.G.M.E. (1984) Inventario de los Recursos Nacionales de Oro. Primera Fase. Servicio Documentación, ITGE, Madrid, Nº. 10946.

ILARRI A. Y GARCIA F.J. (1995) Biolixiviación de auríferos refractarios de la Faja Pirítica española a escala de Laboratorio y Planta Piloto. Congr. Auríferos Refractarios, Venezuela.

JAHODA R., ANDREWS J.R., FOSTER R.P. (1989) Structural controls of Monterroso and other gold deposits in northwest Spain-fractures, jogs and hot jogs. IMM, vol. 98, B, pp. 1-6.

LAGO A., CASTROVIEJO R., NODAL T. (1989) Las mineralizaciones argentíferas de Plasenzuela, Cáceres. España. Bol. Geol. y Minero, v. 100-6, p. 1059-1074.

LEAL G., CASTROVIEJO R. (1990) Las Mineralizaciones Auroantimoníferas de Almuradiel (Ciudad Real). X Reunión S.E.M., Oviedo, 4-6 Jul. 1990; abs: Bol. Soc. Esp. Mineralogía, v. 13-1, p. 102-103.

LOCUTURA J., BELLAN A. (1987) Prospección Geoquímica multielemental en el área de Benasque (Pirineo Central), España. II Congr. Geoquímica, Soria.

LOPEZ RUIZ J., RODRIGUEZ BADIOLA E. (1980) La Región Volcánica Neógena del SE de España. Estudios Geológicos, 36, p. 5-63.

MARTIN IZARD A., BOIXET L., MALDONADO C. (1993) Geology and Mineralogy of the Carlés Gold-Bearing Skarn, Cantabrian Cordillera, Spain. In: Fenoll Hach-Alí, Torres-Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology applied to Ore Deposits (ISBN84-338-1772-8), Univ. Granada, p. 499-502.

MARTIN-IZARD A., CEPEDAL M.A., RODRIGUEZ-PEVIDA L., SPIERING E., GONZALEZ S., VARELA A. Y MALDONADO C. (1997) The El Valle deposit: An example of porphyry-related copper-gold skarn mineralization overprinted by Late Epithermal events, Cantabrian Mountains, Spain. Mineral Deposits, Papunen (ed.) Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 889 4. pp. 659-662.

MARTINEZ FRIAS J. (1992) The Hiendelaencina mining district (Guadalajara, Spain). Min. Deposita, v. 27, Nº.3, p. 206-212.

MARTINEZ FRIAS J., GARCIA GUINEA J., LOPEZ RUIZ J., LOPEZ GARCIA J.A., BENITO R. (1989) Las mineralizaciones epitermales de Sierra Almagrera y de la cuenca de Herrerías, Cordilleras Béticas. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 12, p. 261-271.

MONTEERRUBIO S. (1991) Mineralizaciones Asociadas a Rocas Ultrabásicas en el Hercínico Español. Ph. D. Univ. Complutense Madrid, 332 p.

MORALES S., FENOLL HACH-ALI P. (1990) Mineralizaciones de Pb-Zn-(Ag) asociadas a rocas volcánicas del distrito de Mazarrón (Murcia). Geoquímica y Metalogenia. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 13-1 (abs.), p.58.

MURPHY P.J., ROBERTS S. (1997) Evolution of a metamorphic fluid and its role in lode gold mineralisation in the Central Iberian Zone. Mineral. Deposita, 32, pp. 459-474.

NESBITT B.E. (1988) Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. Geology, v. 16, pp. 1044-1048.

OEN I.S., FERNANDEZ J.C., MANTECA J.I. (1975) The Lead-Zinc and Associated Ores of La Unión, Sierra de Cartagena, Spain. Econ. Geol., v. 70, p. 1259-1278.

ORTEGA L., OYARZUN R., GALLEG0 M. (1995) Metasediment-hosted epithermal Sb-(Au) mineralization in central Spain: role of hidden Hercynian granitoids. Instn. Min. Metall., vol. 104, B, pp. 80-86.

ORTEGA L., OYARZUN R., GALLEG0 M. (1996) The Mari Rosa late Hercynian Sb-Au deposit, western Spain. Geology and geochemistry of the mineralizing processes. Mineral. Deposita 31, pp. 172-187.

ORUETA D. (1919). Informe sobre el Reconocimiento de la Serranía de Ronda. Bol. IGME, t.XL (XX, 2ª ser.), p. 1-133.

OVEJERO G., JACQUIN J.P., SERVAJEAN G. (1976) Les minéralisations et leur contexte géologique dans la Sierra de Cartagena (Sud-Est de l'Espagne). Bull. Soc. géol. France (7), t. XVIII, nº. 3, p. 619-633.

PANIAGUA A. (1994) Mineralizaciones asociadas a fracturas tardihercínicas de la Rama Sur de la Zona Cantábrica. Bol. de la Sociedad Española de Mineralogía, 17, pp. 285-286.

PANIAGUA A., RODRIGUEZ PEVIDA L.S., GUTIERREZ VILLARIAS (1988 a) Mineralizaciones As-Sb-Au asociadas a rocas ígneas filonianas del NE de León: las minas de Burón. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 11, (1), p. 35-46.

PANIAGUA A., RODRIGUEZ PEVIDA L.S. (1988 b) Génesis y evolución de las mineralizaciones de Cu-Co-Ni-U-Pb-Zn-Au-Ag ligadas a las estructuras tardihercínicas en el área de Pajares-Villamanín-Bonar (Norte de León). Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 11, (2), p. 118-119.

PAVILLON M.J. (1969) Les minéralisations plombo-zincifères de Carthagène (Cordillères Bétiques, Espagne). Mineral. Deposita, 4, p. 368-385.

PEREZ GARCIA L.C., SANCHEZ PALENCIA-RAMOS F.J. (1992) Los yacimientos de oro de Las Médulas de Carucedo (León). In: García Guinea J., Martínez Frías J. (eds., 1988) Recursos Minerales de España. CSIC, Madrid, p. 861-873.

QUESADA C. (1992) Evolución Tectónica del Macizo Ibérico (Una historia de crecimiento por acrecencia sucesiva de terrenos durante el Proterozoico superior y el Paleozoico). In: Gutiérrez Marco J.G., Saavedra J., Rábano I. (eds.) Paleozoico Inferior de Ibero-América. Univ. Extremadura, p. 173-190.

RIBEIRO A., PEREIRA E., DIAS R. (1990) Structure in the Northwest of the Iberian Peninsula, Central Iberian Zone. In: Dallmeyer R.D. and Martínez García E. (eds.) Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag, Berlin, p. 220-236.

ROBERTS S., SANDERSON D., GUMIEL P., DEE S. (1991) Tectonic and fluid evolution of auriferous quartz veins from the La Codosera Area, SW Spain. Economic Geology, vol. 86, pp 1012-1022.

ROEDDER E. (1984) Fluid-inclusion evidence bearing on the environments of gold deposition. In: FOSTER R.P. (ed.)

Gold'82: The Geology, Geochemistry and Genesis... Geol. Soc. Zinbabwe, Balkema, p. 129-163.

SANCHEZ PALENCIA-RAMOS F.J. (1983) La explotación del oro de Asturias y Gallaecia en la Antigüedad. Tesis Doct., Univ. Madrid.

SANDERSON D.J., ROBERTS S. Y GUMIEL P. (1994) A fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill core from La Codosera, Spain, Economic Geology, vol. 89, pp. 166-173.

SHASHKIN V. (1992). Platínidos en las formaciones de rocas ultramáficas de Galicia. Conf. XIV Reunión de Geología y Minería del N.O. Peninsular. O Castro, 17-21 nov. 1992. Area Xeol. Minería, Sem. Estudos Galegos, Coruña.

SILLITOE R.H. (1993) Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features, in Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I. and Duke J.M., eds., Mineral Deposit Modeling Geological Association of Canada, Special Paper 40, p. 403-417.

SOLER A., AYORA C., CARDELLACH E., DELGADO J. (1990) Gold-bearing hedenbergite skarns from the SW contact of the Andorra granite (Central Pyrenees, Spain). Mineral. Deposita 25, p. 59-68.

TORNOS F., CASQUET C., GONZALEZ J.M. (1993) Comment on the paper by A. Concha et al. (1992, reference in this list).

TORNOS F., LOCUTURA J. (1988) Mineralizaciones epitermales de Hg-(Pb, Au) en Ossa Morena (Usagre, Badajoz). Bol. Soc. Esp. Mineralogía, v. 11 (2), p. 124-127.

TORNOS F., SPIRO B.F., SHEPHERD T.J., RIBERA F. (1997) Sandstone-hosted gold lodes of the southern West Asturian Leonese Zone (NW Spain). The role of depth in the genesis of the mineralización. Chron. Rech. Min., 528, pp. 71-86.

TORRES-RUIZ J., GARUTI G., FENOLL HACH-ALI P., GERVILLA F. (1993) Platinum-Group-Mineral and other solid inclusions in chromite from the "Chromite Ores" of the Serranía de Ronda Lherzolite Massifs (Betic Cordillera), Southern Spain. In: Fenoll Hach-Alí, Torres-Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology applied to Ore Deposits (ISBN 84-338-1772-8), Univ. Granada, p. 583-586.

URBANO R. (1994) Exploración minera de yacimientos de oro por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Bol. Geológico y Minero, vol. 105-6, pp. 537-549.

WHITE N. C., HEDENQUIST J. W. (1990) Epithermal Environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. Jour. Geochem. Exploration, 36, p. 445-474.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

LA GEOQUIMICA DEL ORO COMO HERRAMIENTA DE PROSPECCION DE MENAS AURIFERAS.

Por M. VILADEVALL SOLE (*)

R E S U M E N

El oro es un elemento con contenidos crustales muy bajos (alrededor de 2 ppb), pero con una elevada difusión en la corteza terrestre, comparativamente con otros metales de interés económico, debido a la capacidad y diversidad de tipos de depósitos minerales que lo contienen. Esta difusión, junto a la facilidad de dar lugar a complejos de relativa movilidad en condiciones exógenas, permite utilizar para su localización, diversos métodos de prospección geoquímica, entre los cuales resaltaríamos, por su efectividad y bajo costo, a la prospección biogeoquímica.

Palabras clave: Oro, Geoquímica, Biogeoquímica, Prospección.

A B S T R A C T

Very little crustal content is found in gold (2 ppb), yet its presence throughout the Earth's crust is considerable, compared to other metals of economic interest, due to the capacity and diversity of the mineral deposits where it is found. This widespread diffusion, together with its ease to produce relatively mobile complexes in exogenic conditions, allows for the use of various geochemical prospecting methods in its localisation, among which biogeochemical prospecting is the most effective and the cheapest.

Key words: Gold. Geochemistry, Biogeochemistry, Prospecting.

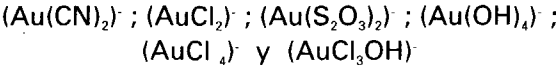
1. INTRODUCCION

El interés sobre la geoquímica del oro lo muestra los más de 900 trabajos publicados entre 1900 y 1994 (sin contabilizar los de la antigua URSS), la mayor parte de los cuales se hallan ubicados en la década de los 80-90 (Fig.1).

El oro, de símbolo químico Au, ocupa el lugar 79 en la tabla periódica y se sitúa entre el platino y el mercurio; pertenece al grupo IB del Sistema Periódico, junto con el cobre y la plata. Es un metal moderadamente blando, muy dúctil y maleable, buen conductor del calor y de la electricidad. Tanto el oro como los dos elementos

que pertenecen al grupo IB, muestran poca similitud con los metales alcalinos del grupo IA. Su masa atómica es de 196,967, con una densidad de 19,5 y un punto de fusión de 1.064 °C y de ebullición de 2.960 °C.

Bajo el punto de vista de su reactividad química BOYLE, (1979), nos indica que se asemeja mucho a la plata, pero su carácter químico es mucho más noble. Los principales estados de oxidación son el Au (I) auroso y el Au (III) o áurico, observándose estos estados bajo la forma de complejos del tipo:



Al estado natural se le conoce tan sólo un isótopo estable ¹⁹⁷ Au con una vida media superior a los

(*) Dep. Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica.
Universidad de Barcelona.
Zona Universitaria de Pedralbes. Barcelona 08071
Fax: 34-3-4021340; e-mail: mvila@natura.geo.ub.es

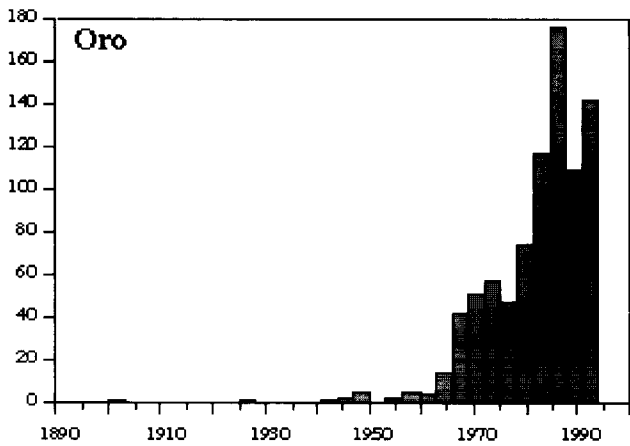


Fig. 1. Distribución de los 852 trabajos publicados sobre geoquímica de oro entre 1900 y 1994 (fuente AEG 1995).

3*10¹⁶ años. Por el contrario se conocen varios isótopos inestables de vida muy corta (185 días), tales como los ¹⁹⁶ Au - ¹⁹⁸ Au - ¹⁹⁹ Au.

En la naturaleza, el oro se presenta por lo general en estado nativo o en aleación con otros metales principalmente con la Ag (cuando el contenido de Ag es superior al 20%, se denomina electrum), Cu, Sb, Bi, Pt, Rh e Ir.

Algunos de estos elementos son miscibles con el oro en todas las proporciones. El color del oro nativo aleado, es ampliamente dominado por la plata de tal manera que a partir de un 65% de Ag es prácticamente imposible diferenciarla de la propia plata nativa.

Aparece igualmente combinado con el Te y Se para dar telururos y seleniuros así como en forma de inclusiones en un buen número de sulfuros, sulfo-arseniuros (de Fe, Cu, Ag, Sb, As), en el arsenopirita, pirita, pirrotina, cobres grises etc. Por el contrario los sulfuros y sulfosales de Zn y Pb no acostumbran a ser auríferos aunque ciertas galenas y esfaleritas presenten contenidos elevados. Igualmente pequeños contenidos de oro aparecen en ciertos elementos nativos tales como el As, Bi, Cu, Ag y Pt (BOYLE, 1979 op. citada y BACHE, 1981).

Su comportamiento es más siderófilo que calcófilo, así en la separación de un baño fundido en dos fases, una de hierro nativo y otra sulfurada,

éste se concentra principalmente en la primera. Es además un constituyente traza de los meteoritos con contenidos medios en los condritos de 0,2225 ppm, de 0,9 ppm en las sideritas y de 8 ppb en las tectitas terrestres. Se ha constatado además, que su contenido en las rocas lunares es similar al de las rocas ígneas terrestres.

2. CONTENIDO LITOSFERICO.

Su abundancia, sería de 5 ppb como media coincidiendo, la mayoría de autores, en que los materiales máficos se hallan más enriquecidos que los félsicos, aunque algunos mantienen que las diferencias son tan sólo relativas (Tabla n.º1).

En cuanto a su comportamiento durante la diferenciación, algunos geoquímicos observan que el Au se enriquece junto con el K, lo que explica que en los estadios postmagmáticos con elevada potasificación den lugar a algunos tipos de yacimientos auríferos. BOYLE 1979 op. cit, nos indica que en sus trabajos, ha podido apreciar cierta correlación del Au con el Fe y una correlación relativamente buena con el Cu, Ag, S, As y Sb.

IVENSEN et al (1974), observa que el contenido en Au aumenta con la basicidad de la roca pero también con el contenido en Na; que su concentración en las rocas ígneas no se halla relacionado con el contenido de sus encajantes sedimentarios o ígneos y que pueden existir ciertos procesos en la diferenciación magmática capaces de generar soluciones hidrotermales que transporten el Au de la cámara magmática.

GRABAZEV et al (1986), nos indica que el contenido modal del Au, es de 1 a 2 ppb en las intrusiones mesoabisales de una asociación granítica, mientras que los postorogénicos hipoabisales y leucocráticos, poseen contenidos superiores: entre 2 y 3 ppb. Esta observación contradice los clarkes de la tabla. N.º 1 propuestos por Boyle. Así mismo se observa una correlación positiva Fe/Au y Mg/Au lo que reafirma su condición de siderófilo.

Por otra parte, GRABAZEV et al (op. cit), nos indica que los granitos afectados por un metasomatismo, presentan contenidos entre 2 y 4 ppb, en casos aislados hasta los 6-9 ppb, lo que consi-

FUENTE	Au ppb	Ag ppb	Au/Ag
Regiones oceánicas profundas	4	98	0,041
Regiones sub-oceánicas	2,9	82	0,035
Antiguos escudos	3,4	67	0,051
Arcos plegados	3,8	62	0,061
Corteza oceánica	3,5	91	0,043
Corteza continental	3,5	65	0,053
Corteza terrestre	3,5	75	0,047
Rocas cristalinas	3,6	77	0,046
Rocas sedimentarias	5,1	65	0,078
Rocas Ultrabásicas	11,4	80	0,1425
Lamprófidos	1,6	-	-
Rocas básicas Intrusivas	23	140	0,1643
Rocas básicas Extrusivas	17	110	0,1582
Intermedias Intrusivas	7,5	50	0,1500
Intermedias Extrusivas	12,9	80	0,1613
Acidas Intrusivas	11,4	50	0,2280
Acidas Extrusivas	3,7	50	0,0740
Alcalinas	3,4	100	0,0340
Cuarcitas s.l.	31,7	-	-
Pizarras y Filitas	2,2	200	0,0110
Gneises y Granulitas	3,1	-	-
Anfibolitas	7,1	250	0,0284
Esquistos	18,6	200	0,0930
Mármoles	13,2	50	0,2640
Corneanas	6,4	-	-
Eclogitas	3,6	100	0,0360
Eskarns	8,6	-	-
Detríticas s.l.	57,0	200	0,2850
Grauvacas	13,2	200	0,0660
Arcillitas s.l.	8,0	200	0,0400
Pizarras negras	132,0	600	0,2200
Tobas	6,9	300	0,0230
Calizas s.l.	7,0	100	0,0700
Evaporitas Yeso s.l.	20,8	-	-
Sales	23,8	-	-
Cherts	16,7	200	0,0835
Fosforitas	7,2	-	-

Tabla n.º 1. Contenidos litosféricos según BOYLE 1979 (modificado)

dera para éstos, que el Au no se distribuye uniformemente ya que también se asocia con los sulfuros (beremitización).

Este autor, observa además una disminución del contenido en Au en los granitos tardíos y postorogénicos mientras que en las tonalitas-granodioritas orogénicas, dicho fenómeno no ocurre. La discusión se centra pues, en la evolución de este metal en la cámara magmática. En efecto: si el líquido cristaliza completamente y la fase acuosa no reacciona con la roca cristalizada a la temperatura del subsólidos, entre el 50-70% del Au del magma inicial entra en la fase fluida (principalmente clorurada). Este fenómeno dará lugar a un cambio considerable del coeficiente de partición entre el fluido y el magma, pero a favor de la fase fluida, lo que explicaría el porqué de las acumulaciones de Au en las partes apicales de las intrusiones. Si el fluido desaparece rápidamente, persistirán los contenidos normales en los granitoides y si éste reacciona con el granito, la temperatura descenderá y el Au se depositará al disminuir su solubilidad al incrementarse la actividad del azufre. Esto explicaría los elevados contenidos en oro de los granitos alterados hidrotermalmente, frente a los granitos inalterados.

Por último indicar que los geoquímicos consideran que los contenidos en este elemento son relativamente superiores en las rocas extrusivas, frente a sus equivalentes intrusivos, así como en las variaciones regionales, que dan lugar a poblaciones de tipo lognormal.

En las rocas metamórficas el Au se encuentra en los mismos minerales que en las rocas ígneas y sedimentarias: pirita, arsenopirita, pirrotina, magnetita, biotita, piroxenos y anfíboles y de forma nativa.

Los minerales afectados por el metamorfismo regional, presentan rangos similares al de los minerales sedimentarios o ígneos de los que proceden, salvo en ciertos eskarns o corneanas de contacto que suelen aparecer más enriquecidas, así como en magnetitas o pirita-pirrotina (antiguas pizarras negras).

No obstante, la mayoría de los investigadores, coinciden en afirmar que el Au emigra durante el proceso metamórfico. En el caso de las black shales (pizarras negras), se ha observado que el Au emigra junto al cuarzo hacia cavidades de origen

tectónico (grietas de tensión dando lugar a depósitos de Saddle Reef, VILADEVALL 1993).

Los materiales de mayor grado metamórfico, caso de la mayoría de gneises, presentan unos contenidos muy bajos, teniendo en cuenta sus contenidos originales premetamórficos. La causa habría que buscarla también en una fase migratriz. Todo ello nos lleva a indicar que el Au se comporta como un elemento relativamente móvil durante el metamorfismo al igual que la plata, pero tampoco se acumula, tal como cabría esperar junto a la sílice en pegamatoides perianatéticos, salvo en los Eskarns y eskarnoides, así como en filones y vetillas ricas en sílice.

Si bien como ya hemos indicado el Au no es un calcófilo, tiende a concentrarse en su migración junto a los sulfuros de As y Sb principalmente, pero también acompaña al K, Na, Mo, W, Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Pb, Se y Te.

Los contenidos medios en rocas sedimentarias tal como observamos en la tabla n.º 1, sólo caracterizan algunos tipos o formaciones muy definidas ya que los valores acostumbran a ser muy erráticos, fundamentalmente si se intenta comparar a sedimentos consolidados con los no consolidados (arcillas y pizarras). Evidentemente ambos se hallan muy relacionados, pero los consolidados se hallan afectados por la diagénesis y el anquimetamorfismo, mientras que los no consolidados, a su área fuente (no presentan iguales contenidos las arcillas y siltitas del Mar Negro que las del Báltico, Mar Rojo, dorsales oceánicas, etc.) y el tamaño de grano, observándose que su contenido se incrementa con la disminución de dicho tamaño.

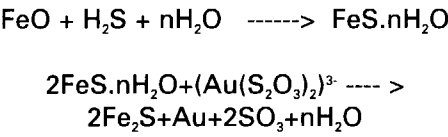
Se observa además, un enriquecimiento en oro en ciertos sedimentos o formaciones rojas como los Red Sands Stones (oxidadas) y como resultado de la adsorción o coprecipitación del Au junto a los óxidos de Fe (carácter siderófilo).

Dentro de las formaciones sedimentarias, las más importantes en cuanto acumulación de Au son las detríticas modernas (placeres) y los antiguos conglomerados del tipo "Rand", así como las pizarras negras o black shales carbonosas y piritíferas.

Los primeros y como macro tipo tenemos el Witwatersrand de Sur Africa, presentan contenidos medios cercanos a los 8 ppm de Au y 0,8 ppm de Ag, mientras que los placeres actuales auríferos poseen contenidos erráticos que quedan plenamente definidos con el famoso efecto "pepita" en los variogramas. En este grupo el Au se halla en forma nativa y los tamaños de las partículas varía desde tamaños inferiores a una micra a varios milímetros (excepcionalmente centímetros). Si la pirita se halla presente, caso de placeres antiguos o muy modernos (sin tiempo aparente de oxidación), ésta presenta contenidos elevados en Au.

En cuanto a los segundos o black shales, merecen un capítulo a parte por su potencial interés en la acumulación de menas auríferas. Estos materiales, acostumbran a presentar contenidos elevados en Au, hallándose principalmente asociado a la pirita, pirrotina, arsenopirita y a la materia orgánica.

KOROBENYNIKOV (1985), nos indica que en las pizarras negras, la distribución del oro es variable en las distintas parte de la corteza en que se sitúan dichos depósitos. En el 80% de las regiones los contenidos medios de Au se incrementan de 5 a 10 veces más con respecto a otras facies (entre 6,7 a 65 ppb con una media de 14,7 ppb) si lo comparamos con las arcillas a modo de ejemplo con contenidos de 0,5 a 1,6 ppb. La pirita es el principal receptáculo del Au con niveles que oscilan entre 1 a 1.360 ppb y su origen puede ser diagenético en el que al Au puede coprecipitar con la pirita mediante:



El contenido medio de la materia orgánica puede oscilar entre el 5-7% y el contenido de Au en ésta, entre el 16-60% del Au total de las pizarras negras.

Las aureolas con elevados contenidos en Au en estas formaciones, según este autor ruso, se hallarían también controladas, por zonas de diaclasses y originadas por procesos hidrotermales y

metasomáticos redistribuidores de los metales pesados y contenidos en los sulfuros y materia orgánica.

3. REACTIVIDAD, ESTABILIDAD Y TRANSPORTE DEL ORO Y SUS COMPUESTOS EN CONDICIONES EXOGENAS.

El oro en estado nativo es el metal que junto al platino presenta mayor nobleza. Químicamente es muy poco reactivo y no se halla afectado por el agua ni por la mayoría de los ácidos. Tampoco se combina con el oxígeno y el azufre. Permanece, por otra parte inalterado en condiciones superficiales. Sin embargo, evidencias de campo indican que la solución y el transporte a corta distancia del oro pueden realizarse bajo condiciones favorables (EMMONS, 1917).

Migración en solución

El oro, es soluble en forma de algunos complejos. En soluciones ácidas y en presencia de un fuerte agente oxidante, tal como el MnO₂, el Au⁺ (con potencial de oxidación alto, que hace imposible su presencia en cantidades apreciables, en soluciones naturales), se oxida a Au³⁺ que en presencia de iones cloruro puede formar el complejo estable AuCl₄⁻. El manganeso, por otra parte, al ser un elemento abundante y extendido, principalmente en zonas mineralizadas permite la solución y reprecipitación del oro, lo que da como resultado la presencia de éste metal en grietas y pequeñas aberturas filonianas, principalmente en el techo de los filones así como en sus encajantes en forma de metal nativo y estructura de pepitas.

ONG y SWANSON (1969) utilizando potenciales estándar de MARTELL y SILLEN (1964), calcularon la solubilidad para varias especies de soluto de oro en el laboratorio, comprobando experimentalmente los resultados obtenidos (tabla N.º 2).

Ecuación	E° (vol.)	Log K _{el} (25°)
4Au+4HS+4AuS+2H ₂ O	-0.897	60
2Au+8Cl ⁻ +6H ⁺ +3/2 O ₂ =2AuCl ₄ ⁻ +3H ₂ O	-0.029	23
2Au+2H ⁺ +1/2 O ₂ +4Cl ⁻ =2AuCl ₂ ⁺ +H ₂ O	-0.110	4
2Au+2OH ⁻ +3/2 O ₂ =2AuO ₂ ⁻ +H ₂ O	+0.099	-10

Usando los siguientes datos para una composición de agua de río con:

$\log (\text{SO}_4)^{2-}=-3,921 \text{ M}$, $\log (\text{HS})=-1,24$ a $-1,19 \text{ M}$, $\log (\text{Cl})=-3,657 \text{ M}$, $\log \text{PO}_2=0,6990 \text{ atm.}$ y $\text{pH}=4$ a 9 .

El cálculo de las solubilidades del oro en aguas superficiales frías a 25 °C y en contacto con el aire lo tenemos:

log AuCl ₂ ⁻	log AuCl ⁺	log AuO ₂ ⁻	log AuS ⁻	log ΣAu	pH
-10,5	-17	-15,5	-109	-10,5	4
-15,5	-32	-10,5	-104	-10,5	9

Tabla n.º 2. Resultados análisis laboratorio: Solubilidad de 10^{-10,5} M o 0,006 ppb.

Estos autores investigaron, también, el efecto de los ácidos orgánicos naturales en el transporte, deposición y concentración del oro. Mostraron, mediante experimentos de laboratorio, que concentraciones orgánicas en el rango de 3 a 30 ppm pueden reducir soluciones de cloruros de oro a coloides negativos de oro metálico estables por encima de 8 meses y de tamaño muy pequeño, < 10 mμ. Sugieren que en los rangos de pH de la mayoría de aguas superficiales «pH entre 4 y 9» el oro puede ser transportado de forma adsorbida en estos coloides orgánicos.

Así, para estos autores, los componentes importantes del oro total solubilizado en las aguas superficiales serían: el oro coloidal y en menor proporción, el oro en forma de disolución verdadera.

BROKAW (1910), después de realizar estudios comparativos sobre los diferentes disolventes posibles del oro, concluyó que la mezcla de Fe(SO₄)₃, H₂SO₄ y NaCl en concentraciones comunes a las de las aguas de mina, disuelven el oro al formarse (AuCl₄)⁻ en presencia de MnO₂. Este proceso ha sido demostrado por otros investigadores, EMMONS (1917), KRAUSKOPF (1951) y CLOKE y KELLY (1964).

Los estudios realizados por JONES (1970) ofrecen datos sobre la presencia de oro en aguas, plantas y animales que aportan evidencias acerca de la movilidad del oro en condiciones exógenas.

El ion complejo clorurado, $(\text{AuCl}_4)^-$, que tradicionalmente ha sido considerado como el principal complejo en solución, no se forma a pH próximos a 7 y con un contenido relativamente bajo de Cl^- . Estas soluciones son equivalentes a la mayoría de aguas subterráneas y superficiales. El autor concluye que es necesaria la presencia de otros complejos y otros mecanismos de transporte, para explicar la migración del oro en el agua y su absorción en plantas y algunos organismos animales.

En general, representa desplazamientos muy débiles, produciéndose en muchos casos la precipitación "in situ" del oro removilizado, en fisuras y/o coprecipitación con otros minerales.

La precipitación del oro puesto en solución en forma de AuCl_4^- , puede producirse por la acción de $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$, FeSO_4 o la presencia de materia orgánica.

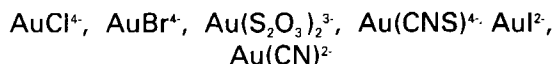
Consecuencia de ello, será una cierta dispersión en la roca encajante próxima a la fuente primaria.

No obstante, la reactividad del oro frente a halógenos, cianuros, tiosulfatos y tiocianatos, es de cierta consideración y de relativa importancia para explicar la movilidad del oro en condiciones superficiales.

Factores que influyen sobre la reactividad del oro

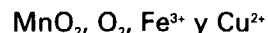
Según ciertos autores tales como KRAUSKOPF (1951), MACHAIRAIS (1970), BOYLE (1979 op. citada) y LAKIN et al. (1974); los principales factores que influyen sobre su reactividad y solubilidad, son:

1. Presencia de un determinado compuesto que forme un ion complejo de cierta estabilidad con el oro. Estos iones complejos serán, de menor a mayor estabilidad:



2. Concentración iónica. La solubilidad del oro será sensible a los cambios en la concentración de los iones que intervienen en el medio.

3. Presencia de un agente oxidante fuerte. Cuatro sustancias están presentes con relativa abundancia en la naturaleza y con un carácter fuertemente oxidante (del orden del AuCl_4^-), estas son:



los dos últimos tienen potenciales de oxidación próximos al AuCl_4^- y una concentración alta de éstos, puede solubilizar el oro en presencia de elevadas concentraciones de Cl^- .

Así pues la función del MnO_2 , O_2 , Fe^{3+} y Cu^{2+} en cada caso, es la de oxidar el Au; mientras que la del Cl^- , es la de formar complejos con el oro una vez oxidado.

Las oxidaciones por O_2 libre y por Fe^{3+} o Cu^{2+} serán probablemente menos frecuentes.

4. El pH. Un pH ácido aumenta el poder oxidante de los agentes antes citados, disminuyendo este poder en medio básico o neutro.

En un ambiente poco oxidante a pH entre 5 y 8, solamente pueden ser causantes de la disolución del Au los iones:



5. Tipo de ambiente geológico. Los factores anteriormente citados, son ya de por sí, caracterizadores de un determinado tipo de ambiente. Citaré solamente unos casos concretos, esquematizados en la figura nº 2:

* En ambientes carbonatados, la oxidación alcalina de la pirita, puede producir suficiente $(\text{S}_2\text{O}_3)^{2-}$ para disolver el oro en forma de $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$.

* En una oxidación ácida de la pirita, las concentraciones elevadas de oro pueden ser el resultado de una removilización transitoria de éste en forma de AuCl_4^- .

* En suelos, bajo una vegetación autóctona y originaria, el oro puede ser movilizado como $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, tal como nos lo indica WARREN (1982) por la *Phacelia sericea* o planta cianogénica del Canadá.

MOBILIDAD DEL ORO EN DIFERENTES AMBIENTES GEOLOGICOS (Acidos, Alcalinos y Vegetación)

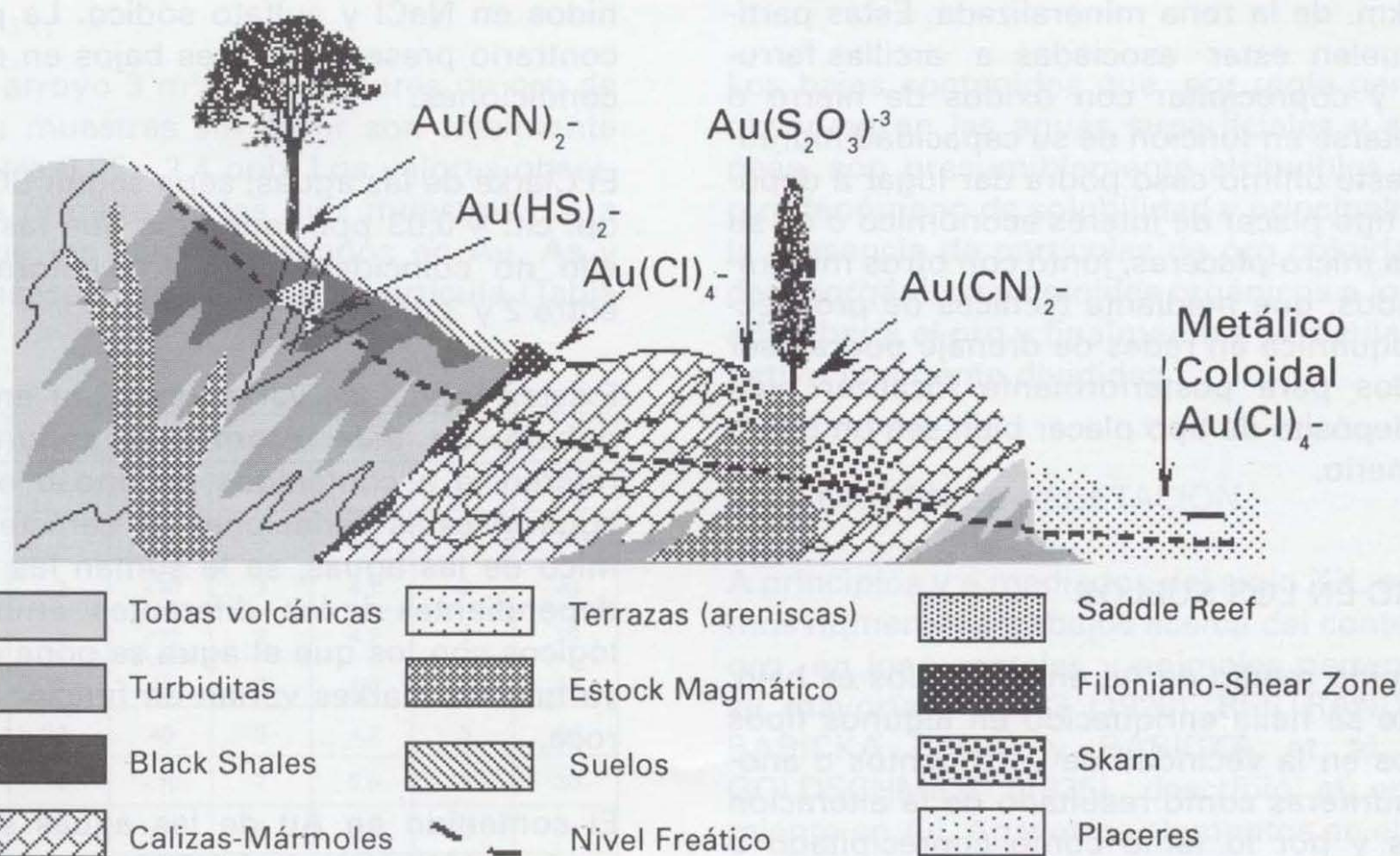


Figura 2

Bromuros y ioduros forman complejos más estables que el cloruro, en medio ácido, pero su menor abundancia en la corteza ≈ 170 ppm (Cl), 2,1 ppm (Br) y 0,4 ppm (I), reduce su efectividad como agentes disolventes del oro.

Los iones cianuro (CN^-) y tiocianato (SCN^-), se generan por hidrólisis en plantas glicógenas mediante acción enzimática. Estos iones forman complejos estables con el oro en ambientes poco oxidantes.

Los iones tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), y el cianuro (CN^-) forman complejos estables con el oro en medios neutros a básicos.

Migración en suspensión

Las partículas de oro de tamaños inferiores a $2 \mu\text{m}$ y de tamaño coloidal, pueden ser transportadas en suspensión en el seno de fluidos, bien como partículas aisladas, bien asociadas a partículas de arcilla y de óxidos de hierro también en suspensión (WEBSTER y MANN, 1984).

El oro en este estado podrá desplazarse, a mayores distancias cuando se incorpora a las aguas superficiales.

La intervención de filtros naturales como son los mismos óxidos de hierro y arcillas, provoca al

paso de los fluidos, la deposición de éstas partículas de oro en suspensión.

Migración por transporte mecánico

Partículas de metal de tamaños superiores a 2 µm, pueden ser arrastradas a distancias superiores a 1 km. de la zona mineralizada. Estas partículas, suelen estar asociadas a arcillas ferruginosas y coprecipitar con óxidos de hierro o sedimentarse en función de su capacidad hidráulica. En este último caso podrá dar lugar a depósitos de tipo placer de interés económico o en su defecto a micro-placeres, junto con otros minerales pesados, que mediante técnicas de prospección geoquímica en redes de drenaje podrán ser detectados para posteriormente localizar bien sea un depósito de tipo placer bien sea un depósito primario.

4. EL ORO EN LOS SUELOS

El contenido medio de Au en los suelos es bajo, pero este se halla enriquecido en algunos tipos de suelos en la vecindad de yacimientos o anomalías auríferas como resultado de la alteración de éstos y por lo tanto como coprecipitado o adsorbido por óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Su situación en los distintos horizontes, se hallará pues en función del contenido de éstos en los óxidos e hidróxidos mencionados, y estos a su vez a condiciones topográficas, climáticas, roca madre, condiciones de drenaje y solapándose a los óxidos e hidróxidos, a la presencia de agentes complexantes tales como tiosulfatos, cianuros y sulfuros como anteriormente hemos indicado.

En cuanto a otros productos de alteración, algunas lateritas, cercanas a anomalías auríferas, pueden enriquecerse en oro (ZEEGERS y LEDUC, 1993), mientras que de todos es conocido, el enriquecimiento residual en los "gossans" del Au nativo.

5. EL ORO EN LAS AGUAS

El Au se halla extensamente difundido en las aguas subterráneas, superficiales, manantiales, marinas etc. con contenidos medios para las

aguas dulces de 0,03 ppb (muchos autores piensan que son sensiblemente inferiores) y en las marinas de 0,012 ppb; en sistemas geotérmicos unos 0,53 ppb Au y 10,7 ppb de Ag con una relación Au/Ag de 0,005 hallándose estos valores influenciados por la temperatura de dichas aguas, incrementándose sus contenidos con ésta, así con pH ácidos (2 - 3,8) y elevados contenidos en NaCl y sulfato sódico. La plata por el contrario presenta valores bajos en este tipo de condiciones.

El Clarke de las aguas, sería según BOYLE (1979) op. cit. ≈ 0,03 ppb, mientras que las rocas y en ello no coinciden todos los autores, oscilaría entre 2 y 3 ppb.

Existen marcadas variaciones por encima y por debajo de este promedio, según hagamos referencia a contenidos en uno u otro tipo de agua. A estas variaciones de carácter físico-químico de las aguas, se le suman las variaciones dependientes de los diferentes ambientes geológicos con los que el agua se pone en contacto ya que los clarkes varían en función del tipo de roca.

El contenido en Au de las aguas superficiales según HAMILTON et al. (1983), no supera a pH 6-7,5 los 0,140 - 0,200 ppb, mientras que los contenidos hallados por dichos autores en aguas cercanas a yacimientos de Au no superan los 0,01 a 0,015 ppb lo que puede dar a entender cierta contradicción. Algunos autores in HAMILTON et al. op.citada, correlacionan la presencia de iones férricos y ácido sulfúrico con elevados contenidos en Au mientras que otros nos indican todo lo contrario y así sucesivamente.

CAMACHO (1988) observa contenidos que oscilan entre 0,02 - 0,06 ppb en aguas sin filtrar del distrito aurífero de Penedono (Portugal) y entre 0,002 y 0,01 ppb en aguas filtradas del mismo distrito (Tabla N.º 3).

VILADEVALL (1993 op. citada), en un arroyo cercano a la mina de oro y antimonio de la Mina de Oro-Antominio de Los Machos (Bolivia), observa que en un mismo punto en el que se tomaron 10 muestras (LM1.1-LM1.10), con una cadencia de muestreo de 1 litro de agua cada 20 segundos

Tipo de muestra	N.º de muestras	Rango de Au (ppb)	Observaciones
Río-Arroyo	36	<0,002-0,010	11% dentro del rango de 0,008-0,010
Fuente	6	<0,002-0,013	33% dentro del rango de 0,009-0,013
Agua en galería de mina	12	<0,002-0,014	41% en el rango de 0,007-0,01

Tabla n.º 3

(caudal del arroyo 3 m³/s), los valores de oro de las distintas muestras sin filtrar son totalmente erráticas entre 0,05 - 2,4 ppb. Los valores observados en la primera de las diez muestras, da a entender que los valores elevados en Au, As y Sb, son consecuencia de alguna partícula (Tabla nº 4).

Muestra	Au ppb	As ppb	Ba ppb	Br ppb	Na ppb	Sb ppb	Zn ppb
LM 1.1	2,40	4	<10	3	4,1	9	60
LM 1.2	0,45	2	<10	3	3,9	3	30
LM 1.3	0,24	2	<10	3	4,1	2	40
LM 1.4	0,48	2	<10	3	4,2	2	20
LM 1.5	0,12	2	40	3	4,6	2	40
LM 1.7	0,09	2	40	3	4,7	3	30
LM 1.8	0,06	2	<10	7	5,0	2	30
LM 1.9	0,05	2	<10	3	4,6	2	50
LM 1.10	0,08	2	30	4	4,9	2	40
"LM2"	0,42	2	<10	3	3,6	4	50
"LM3"	0,18	1	<10	4	1,8	2	40
"LM4"	0,16	1	<10	3	2,3	2	60
"LM5"	0,05	1	<10	3	2,4	2	70

Tabla n.º 4

Los valores superiores a 0,007 ppb en oro de muestras filtradas pueden considerarse, por regla general, como anomalías positivas. El umbral de anomalía, estará en función del fondo geoquímico que se determine para la zona y del tipo de agua que se emplee en el muestreo. Ejemplos de valores designados como anomalías de oro en aguas los tenemos en los trabajos de MCHUGH (1984), considera como valores de anomalía positiva, las concentraciones a partir de 0,006 ppb. CIDU y EDMUNDS (1990), establecen un rango de concentración de 0,001-0,010 ppb para aquellas aguas que circulan sobre zonas mineralizadas con oro.

Los bajos contenidos que, por regla general, se observan en las aguas superficiales y subterráneas, son presumiblemente atribuibles a uno u otro fenómeno de solubilidad y principalmente, a la presencia de partículas de oro coloidal, coloides inorgánicos y coloides orgánicos a los que se adsorbería el oro y finalmente a partículas de oro nativo finamente divididas.

6. EL ORO EN LA VEGETACION

A principios y a mediados del siglo XX, encontramos numerosos trabajos acerca del contenido en oro en los vegetales y animales perteneciendo su mayoría a BERG (1928), BERTRAND (1932), BABICKA (1943) y BABICKA et al. (1945). GOLDSCHMIDT (1935), describió el enriquecimiento en Au, Ag y otros elementos en el humus, procedente de bosques de robles y hayas en Alemania. Esta concentración del oro en el humus relativa al suelo subyacente inorgánico, ya había sido citada por el mismo autor en sus "Principios de enriquecimiento de Goldschmidt".

Se puede hallar una valiosa información sobre la biogeoquímica del oro y de la plata, así como sobre su relación con la materia orgánica, en la obra de MANSKAYA y DROZDOVA (1968). Todos estos autores citados, tienen sus referencias en la obra de BOYLE, 1979 op. cit.

Los contenidos de oro en el humus, a caballo entre suelos y vegetación, presentan una distribución más homogénea que la de los depósitos aluviales coluviales y glaciares. El origen de la presencia de oro en éste, puede atribuirse a la capacidad de retención que la materia orgánica tiene sobre él, así como a su efecto reductor, o a la absorción del oro por las plantas, principalmente las plantas cianógenas (LAKIN et al. 1974 op. citada; BAKER, 1978; DISSANAYAKE, C.B y

KRISOTAKIS, K, 1984) y su posterior acumulación en el humus después de la caída de las hojas o la muerte del vegetal. La interpretación de la relación espacial entre las anomalías en el humus y la mineralización no es fácil, debido a la variada composición que puede presentar el primero de ellos, derivada de la complejidad fisiológica de las plantas, ya que los diferentes compuestos orgánicos (ácidos húmicos, fúlvicos, etc.), pueden actuar como agentes disolventes o fijadores para el oro. La utilización del humus como indicador requiere además, la existencia unas determinadas condiciones ambientales tales como unas condiciones de humedad relativa media-alta que dan lugar a su formación y a su preservación.

El muestreo del humus como método de prospección, puede considerarse a caballo entre la prospección biogeoquímica y la de los suelos y tiene su máxima aplicación en zonas donde existe un importante recubrimiento de material morrénico permeable (zonas cubiertas por los antiguos glaciares), y otros aportes de tipo glacial o coluvial (materiales alóctonos), asociados a mineralizaciones de oro. En EUA, Canadá Finlandia y parte Norte de Rusia, existen un gran número de trabajos en los que se ha utilizado este medio, la mayor parte proceden de CURTIN et al. (1968) y HOFFMAN y BROOKER (1983).

Más recientemente JONES (1970), realiza una recopilación de todos los datos disponibles sobre el tema hasta esa fecha y HUBERT et al. (1984), consideran que cianuros y tiocianatos pueden ser, en parte, los causantes de la movilidad del oro en suelos y plantas; KOVALEVSKII (1987) y KOVALEVSKII y KOVALEVSKAYA (1989) determinan el efecto barrera y no barrera para una extensa vegetación siberiana.

Son numerosas las áreas en donde se ha utilizado la biogeoquímica como herramienta de prospección de oro tales como la antigua URSS (KOVALEVSKII y KOVALEVSKAYA, 1989 op. citada), Canadá (DUNN, 1988), USA (NICHOL, 1986), Australia, Nueva Zelanda, Brasil, Bolivia y España. La presencia de este elemento en las plantas, se halla en función de su contenido en el suelo y aguas, así por ejemplo BOYLE (1979 op. citada), resalta que la presencia de elevados contenidos de calcio en las aguas subterráneas hace

decrecer la migración del Au y por lo tanto su acumulación en estas.

SHACKLETTE (1970) demostró que el HCN está presente en los suelos en concentraciones adecuadas para facilitar la disolución del oro. La existencia de los cianuros en la naturaleza tiene su origen en los biosistemas y dentro de estos se conocen actualmente numerosas plantas, hongos, y algunos artrópodos, que producen "cianoglicosidos" de cuya descomposición se obtiene el HCN. Las condiciones que se requieren son: suelos oxigenados, pH neutros a básicos y presencia de un agente oxidante fuerte lo que da lugar a un estado de oxidación (Au⁺), que tal como ya se ha indicado, puede formar compuestos solubles en presencia del ion CN y en consecuencia la formación del complejo Au(CN)₂ que es absorbido fácilmente por las plantas. Las principales familias de plantas calificadas como cianogénicas son las Rosaceae y las Linaceae.

Nuestra experiencia en prospección biogeoquímica utilizando, principalmente hojas, tanto en vegetación perenne como en la caduca, nos permite resaltar este método por los resultados obtenidos (CAMACHO y VILADEVALL, 1991; VILADEVALL, 1993 op. citada, VILADEVALL et al. 1993 y VILADEVALL et al 1995). Tablas nº 5 y 6.

En efecto, el análisis de diferentes muestras de hojas de pinos en el Yacimiento de Penedono, en Portugal, ha permitido mostrar una elevada correlación entre contenidos de Au y As alrededor de las zonas mineralizadas. En los Pirineos Centrales hemos podido comprobar el comportamiento no barrera para el oro, en el sentido de KOVALEVSKII (1987 op. citada), de robles pinos, avellanos, chopos, retamas y otras especies arbóreas y arbustivas que permiten ser ampliamente utilizadas en prospección geoquímica de oro (CAMACHO y VILADEVALL, 1991).

Mención especial presentan los plátanos de la Ciudad de Barcelona y de localidades próximas a esta y siempre sobre vías de comunicación que junto con sus suelos, presentan elevados contenidos en oro y otros metales. Estas anomalías las atribuimos a una contaminación atmosférica originada por la combustión de combustibles petrolíferos.

Contenidos de fondo y anomalías en oro y elementos indicadores de diversas especies de vegetación arbórea, arbustiva y herbácea en la Península Ibérica.

Muestras de la Península Ibérica	Au*	As	Hg	Sb	Zn	Cu
<i>Pinus pinea</i> (Mina de oro Pirineo Central)	22,0	23,0	0,3	3,4	26	n.d.
<i>Pinus pinea</i> (Maresme)	3,2	0,1	0,2	0,1	48	n.d.
<i>Pinus halepensis</i> (Baix Llobregat)	2,0	0,1	0,4	0,1	39	n.d.
<i>Quercus faginea</i> (Mina de oro Pirineo Central)	5,9	3,2	0,7	1,1	25	n.d.
<i>Quercus suber</i> (Montseny)	3,2	0,2	<0,05	0,1	65	5,0
<i>Quercus ilex</i> (Maresme)	2,4	0,1	0,8	0,3	17	n.d.
<i>Alnus glutinosa</i> (Mina de oro Pirineo Central)	12,5	7,7	0,4	0,7	42	n.d.
<i>Populus nigra</i> (Mina de oro Pirineo Central)	19,3	8,4	0,3	2,0	48	n.d.
<i>Populus nigra</i> (Aluvial aurífero Río Segre)	<0,1	<0,1	n.d.	0,1	86	n.d.
<i>Populus nigra</i> (Aluvial Río Llobregat)	1,6	0,7	0,1	0,2	500	8,0
<i>Cistus monpeliensis</i> (Baix Llobregat)	5,5	0,4	0,2	1,1	146	n.d.
<i>Cistus salvifolius</i> (Montseny)	2,5	0,1	<0,05	0,1	250	7,0
<i>Erica multiflora</i> (Baix Llobregat)	1,9	0,1	0,3	0,1	22	n.d.
<i>Salix fragilis</i> (Aluvial aurífero Río Segre)	1,8	0,2	0,1	0,0	130	n.d.
<i>Baxus sempervirens</i> (Baix Llobregat)	2,8	6,8	<0,05	2,5	17	n.d.
<i>Arbutus unedo</i> (Montseny)	1,2	<0,02	<0,05	0,0	99	3,0
<i>Rubus ulmofolius</i> (Mina de oro Pirineo Central)	6,5	10,1	<0,05	1,5	41	n.d.
<i>Juglans regia</i> (Aluvial aurífero Río Segre)	4,4	0,4	0,3	0,1	15	6,0
<i>Corilus avellana</i> (Aluvial aurífero Río Segre)	6,7	0,6	0,3	0,1	32	18,0
<i>Platanus acerifolia</i> (Contenido medio en Barcelona)	47,4	0,4	0,2	2,5	50	16,8
<i>Platanus acerifolia</i> (Argentona, Barcelona)	3,4	0,0	<0,05	0,1	10	3,0
<i>Platanus acerifolia</i> (Caldetes, Barcelona)	10,0	0,2	<0,05	0,3	49	8,0
<i>Platanus acerifolia</i> (Hostalrich, Girona)	11,6	0,1	0,2	0,2	13	3,0
<i>Platanus acerifolia</i> (Aluvial aurífero Río Segre)	2,2	0,4	0,4	0,1	8	2,0
<i>Medicago sativa</i> (Aluvial aurífero Río Segre)	5,2	0,1	0,5	0,0	24	9,0
<i>Medicago sativa</i> (Suelo basáltico en Olot, Girona)	11,4	0,2	0,9	0,1	33	n.d.
<i>Thymus vulgaris</i> (Valle del Azogue-Murcia)	0,1	21,0	33,0	78,0	630	17,0
<i>Thymus vulgaris</i> (Sierra Almagrera, Almería)	2,4	1,3	5,3	4,9	59	6,0
<i>Capparis spinosa</i> L (Sierra Almagrera, Almería)	3,0	0,3	1,6	0,1	230	4,0
<i>Genista anglica</i> (Mina de oro Pirineo Central)	13,5	15,4	n.d.	6,8	63	n.d.
<i>Juniperus comunis</i> (Mina de oro Pirineo Central)	8,9	7,6	n.d.	0,57	35,5	n.d.
Peral (Aluvial Río Llobregat)	1,6	0,6	0,6	0,2	72	12,0
Ciruelo (Aluvial Río Llobregat)	1,3	0,5	0,3	0,1	51	9,0
Manzano (Aluvial Río Llobregat)	2,6	1,0	0,3	0,2	260	9,0
Cerezo (Aluvial Río Segre)	1,1	1,9	0,4	0,2	110	10,8
Cerezo (Mina de oro Pirineo Central)	4,6	3,9	<0,05	1,3	23	n.d.
Melocotonero (Aluvial aurífero Río Segre)	1,9	0,2	0,4	0,1	10	4,0

Tabla nº. 5. Datos del autor. Hojas secas excepto el cobre en cenizas. Au (ppb), los otros elementos en (ppm).

En el Altiplano y subandino boliviano y en la Puna argentina, la vegetación arbustiva denominadas “*Tholas*” (Tabla nº 6) presentan un elevado comportamiento no barrera para Au, Sb, As, Cs, Zn y otros elementos, así como unas raíces muy profundas (más de 10 metros), que les permite atravesar los suelos alóctonos y darnos una excelente información sobre el substrato. Además, ésta se halla ampliamente difundida en toda la altiplanicie andina, en la que se localiza uno de los mayores potenciales auríferos del Continente. Todo ello le confiere a esta vegetación, un alto valor como herramienta de prospección geoquímica.

7. CONCLUSIONES

El oro es uno de los elementos que menor contenido medio presenta en la Corteza Terrestre, si bien su difusión en los distintos materiales y su capacidad de dar lugar a depósitos económicos es relativamente elevada. Tres son los factores a considerar en la movilidad y en su caso la difusión del oro en un medio exógeno y que permite ser objeto de una exploración mediante métodos geoquímicos eficaces:

A. La reactiviad de ciertos elementos sobre el oro, oxidándolo y dando lugar a iones complejos o menos solubles.

B. La estabilidad de estos complejos.

C. A pesar de la naturaleza general transitoria, característica de todos los iones de oro, estos pueden llegar a tener una capacidad migratoria o tiempo de estabilidad elevado.

La forma en que se encuentra el Au en las aguas, pueden ser bajo forma coloidal o adsorbido a coloides orgánicos e inorgánicos-orgánicos, en partículas en suspensión y en solución. En cuanto a su precipitación ésta se producirá por coagulación de los coloides, por adsorción y coprecipitación. Como método de prospección minera plantea serios problemas debido a que al tratarse en su mayor parte de coloides, el muestreo, a partir de nuestra experiencia, debe de realizarse tomando como mínimo diez litros de agua, que por su poca operatividad, condiciona una eficaz prospección estratégica.

La presencia del oro en los suelos, es debido a fenómenos de coprecipitación o adsorción por óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, siendo una de las vías de enriquecimiento, la propia vegetación. Es el método universal en fase táctica para la prospección del oro.

La vegetación es una de las herramientas que a partir de nuestra experiencia, puede en algunos casos complementar a los suelos y en la mayoría

Tholas del Altiplano Boliviano	Au	As	Cs	Sb	Zn	Mo
<i>Baccharis Incarum</i> (en Pizarras silúricas)	128,0	22,0	19,0	280	95	0,38
<i>Baccharis Incarum</i> (en Pizarras ordovícicas)	74,8	19	34	220	200	0,01
<i>Baccharis Incarum</i> (en riodacitas)	16,2	1,4	2	2,3	280	0,22
<i>Psidium guineense</i> SW (en pizarras ordovícicas) *	53,8	5	1	2,9	30	0,07
<i>Parasterphia leptophyla</i> (en grauvacas ordovícicas)	14,2	3,3	0,3	2,6	62	0,32
<i>Fabiana densa</i> (aluviones miocénicos)	86,6	3,4	0,95	0,94	52	0,28
<i>Baccharis heterothalamoides</i> (en andesitas)	28,8	1,7	0,2	1,0	29	1,6
<i>Baccharis leptofyla</i> (en pizarras ordovícicas)	35,4	1,4	290	4,7	46	0,1
<i>Baccharis leptofyla</i> (substrato pizarras silúricas)	33,7	7,2	1,2	350	78	0,01
Tholas de la Puna Argentina						
<i>Baccharis Incarum</i> (en andesitas)	11,5	0,68	58	0,12	120	0,2
<i>Baccharis Incarum</i> (en zona arcillitización)	<2	7,4	1200	18	22	0,01

Tabla nº 6. Hojas secas. * Vegetación del subandino (subtropical) boliviano. Au (ppb), los otros elementos en (ppm). VIALDEVALL et al 1993 y 1995.

de ellos ser su eficaz sustituto. En efecto: éstas presentan una mayor homogeneidad en sus contenidos en los diversos órganos de la planta, siendo operativamente el mejor, las hojas. Minimizan además el efecto pepita al adsorber y absorber sus numerosas raíces un mayor número de partículas de oro que posteriormente distribuye en todas sus hojas y en consecuencia se requiere tomar un menor número de muestras por igual superficie y en consecuencia un menor coste. La vegetación más usada, son los árboles (por la profundidad y extensión lateral de sus raíces), destacando entre ellos los pinos y las especies arbustivas como en nuestro caso la *Tholas* en el Altiplano argentino-boliviano.

El porqué la vegetación absorbe el oro, al no tratarse de un oligoelemento necesario para la planta como el Mo, Cu, Zn y otros no se halla todavía resuelto.

REFERENCIAS

BACHE J. J, (1981). Essai de typologie quantitative des gisements mondiaux d'or. Chron. rech. min. 459: 43-53

BAKER, W. E. (1978). The role of humic acid in the transport of gold. Geochim. Cosmochim. Acta vol. 42, pp. 645-649

BOYLE, R. W. (1979). *The geochemistry of Gold and Its Deposits..* Canada Geological Survey Bull n.º 280. 584 p.

BOYLE, R. W y JONASSON. I. R (1984). The geochemistry of antimony and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*, 20: 223-302.

BROKAW, A. D. (1910). The solution of gold in the surface alterations of ore deposits. *Journal of Geology*. 18: 163-169

CAMACHO, G. (1988). Prospección Hidrogeoquímica del oro. Método de análisis. Tesis de Licenciatura. Universidad de Barcelona. 82 p

CAMACHO, G. y VILADEVALL, M. (1991). Prospección Biogeoquímica de oro en tres sectores de la Península Ibérica. In IV Congreso de Geoquímica de Soria, 2 (pp. 10). Soria, España: De Pedro, F.

CIDU, R y EDMUNDS, W. M. (1990). Preliminary studies of a hydrogeochemical method for gold prospecting results from the United Kingdom. Transact. Inst. Min. Metall. 99: 153-162

CLOKE, P. L. y KELLY, W. C. (1964). Solubility of gold under inorganic supergene conditions. *Econom. Geology*. 59: 259-270

CURTIN G. C.; LAKIN, H. W.; HUBERT, A. E. y NEUERBURG, G. J. (1968). Utilization of humus -rich forest soil (mull) in geochemical exploration for gold; *U.S. Geol. Surv. Circ.* 562, 11p.

DISSANAYAKE, C. B y KRISOTAKIS, K, (1984). The geochemistry of Au and Pt in peat and algal mats- a case study from Sri Lanka. *Chem. Geolo.* vol. 42,1, pp. 61-76

DUNN, C. E. (1988). Multi-element analysis of plants to assist in the discovery of gold. *Bicentennial gold 88*, Melbourne.

EMMONS W. H. (1917). The enrichmen of ore deposits. *U.S. Geological Survey Bull.* 625-630

GRABEZHEV A. I.; LEVITAN G. M.; VIGOROVA V. G.; CHAASH-CHUKHINA V. A.; NEYKUR T. A. y YERSOVA N. A. (1986). Gold in orogenic granites of the Ural Eugeosyncline. *Internat. Geology Review.* pp. 449-460

HAMILTON, T. H.; ELLIS, J.; FLORENCE, T. M. y FARDY, J. J. (1983). Analysis of gold in surface waters from Australian Gold Fields: an investigation into direct hydrogeochemical prospecting for gold. *Economic Geology*. 78:1335-1341

IVENSEN YU. P.; AMIZINSKIY V. A.; KOROBITSYN A. V.; KUKHTINSKIY y TRUNILINA V. A. (1973). " Gold distribution in igneous rocks". *Internat. Geology Review.* pp. 242-244.

JONES, R. S. (1970). Gold content of water, plants an animals. *U.S. Geological Surevey Circular.* 625. 15p

KOROBENNIKOV, A. F. (1985). Gold distributions in black shale associations. *Geochem. Internat.,* pp. 114-115.

KOVALEVSKII A. L. (1987). *Biogeochemical Exploration for Mineral Deposits.* VNU Science Press. Utrech. 224p.

KOVALEVSKII, A. y KOVALEVSKAYA, O. M. (1989). Biogeochemical haloes of gold in various species and parts of plants. *Applied Geochemistry*. 4: 369-374.

KRAUSKOPF, K. B. (1951). "The solubility of gold". *Economic Geology*.,46., pp. 858-870.

LAKIN, H. W.; CURTIN, G. C.; SHACKLETTE, H. T. y HUBERT, A. E. (1974). Geochemistry of gold in the weathering cycle. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1330. 80 p.

MACHAIRAIS, G. (1970). Etude de l'or exogène. *Bull. B.R.G.M.* (2), 11,3.

MANSKAYA, S! M. y DROZDOVA, T. V. (1968). *Geochemistry of organic substances*., Pergamon Press, Oxford, 345 p

MCHUGH. J. B. (1984). Gold in natural water; a method of determination by solvent extraction and electrothermal atomization. *Journal of Geochemical Exploration*. 20(3):303-310

McHUG, J. B. (1988). "Concentration of gold in natural waters." *Journal of Geochemical Exploration* 30(1): 85-94. y

NICHOL I. (1986). Geochemical exploration for gold: a special problem. in Tothon & Howart. *Exploration for Gold*. Ed Graham & Trotman. pp. 61-85.

NECHAYEV YE. A. y NIKOLENKO, N. V. (1986). "Adsorption of gold (III) chloride complexes on alumina, silica, and kaolin". *Geochem. International* pp. 32-37

ONG, H. L. y SWANSON, V. E (1969). Natural organic acids in the transportation, deposition, and concentration of gold. Quaterly Colorado School Mines. 64:395-426

SHACKLETTE, H. T., LAKIN, H. W., HUBERT, A. E. y CURTIN, G. C. (1970). Absorption of gold by plants. Geological Survey Bulletin. 1314-B: B1-B22.

VILADEVALL, M. (1993). Las Mineralizaciones Auríferas y Asociados en los Andes Bolivianos. Informe final Proyecto CEE. Ref. CI1-00784-Bolivia.

VILADEVALL, M; SANTIVÁÑEZ, R; ALARCON, H; PONCE, J; VELASCO, F; VALENZUELA, E y SAAVEDRA, J. (1993). La prospección Biogeoquímica en el Altiplano Boliviano. V Congreso de Geoquímica de España. Soria. pp: 92-97.

VILADEVALL, M; QUERALT, I; LOPEZ, S; BECCHIO, R y

ARGAÑARAZ, R. (1995). La prospección biogeoquímica mediante Tholas en la Puna Argentina. El aspecto Minero y Medioambiental. VI Congreso de Geoquímica de España. Soria. pp. 4001-4014.

WARREN, H. V.; DELAVault, R. E. y FORTESCUE, J. A. C. (1955). Sampling in biogeochemistry. Geol. Soc. America Bull. 66: 229-238.

WEBSTER J. G. y MANN A. W. (1984). The influence of climate, geomorphology and prymary geology on the super-gene migration of gold and silver. Journ. of Geochem. Explorat. 22: 21-42.

ZEEGERS, H y LEDUC, C. (1993). Geochemical exploration for gold in temperate, arid, semi-arid, and rain forest terrains. Foster, R.P. ED. Gold metallogeny and Exploration. Champan & Hall. PP: 309-331.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

ANALISIS DE LAS INNOVACIONES EN LA TECNOLOGIA DE LA RECUPERACION DEL ORO.

Por J. A. ESPI (*)

R E S U M E N

Estamos asistiendo a una verdadera revolución en la metodología de extracción del oro de sus minerales. Apoyada en una alta cotización de este metal desde los años setenta, se ha desarrollado una verdadera batería de procedimientos de tratamiento que permiten pensar, por una parte, en la recuperación de menas extraordinariamente bajas en sus contenidos en oro, o bien acceder a minerales hasta ahora no tratados a causa de su resistencia a ser atacados por las soluciones cianuradas (menas “refractarias”).

Tanto los procesos tradicionales (gravimetría, flotación y cianuración directa) como las primeras innovaciones (cianuración en pilas, lixiviación dinámica CIP o CIL, tostación reductora, lixiviación a presión y bioxidación), están sufriendo adaptaciones muy importantes, ajustándose a leyes inferiores a las tratadas en la actualidad, y sobretodo, amoldándose a diseños de mucho más alto tonelaje de tratamiento. Tanto las modificaciones como las tendencias que se vislumbran hacia un futuro próximo son analizadas a la luz de la economía de los proyectos y de las cotizaciones del metal precioso.

Palabras clave: Oro, Mineralurgia, Tecnologías de concentración.

A B S T R A C T

We are looking at a real revolution in the extraction methodology of the gold of its minerals. Supported in a high quotation of this metal from the years seventy, it has been developed a group of treatment procedures that permit to think, about the recovery of the ores with extraordinarily low contents in gold, or to accede to mineral up until now not treated on account of its resistance to be attacked by the cyanide solutions (refractory ores).

The traditional processes gravimetry, froth flotation and direct cianuration as well as the first innovations (“heap leaching” CIP or CIL, roasting, pressure oxidation and bioxidation), they are suffering very important adjustments, being adjusted to inferior values worked at present, and being adapted to designs of much more high treatment tonnage. The modifications as well as the trends that are glimpsed toward a next future are analyzed to the light of the economy of the projects and of the market of the precious metal.

Key words: Gold, Mineral processing, Plant technology.

1. ALGO DE HISTORIA

Las extraordinarias propiedades del metal amarillo (color, brillo, indestructibilidad) han sido las responsables no sólo de su apetencia por todas las civilizaciones sino también por su relativa facilidad de extracción. Ello ha sido la causa de la pervivencia de métodos de recuperación tan tradicionales que la minería artesanal aún los aprovecha.

Sin lugar a dudas el oro fue el primer metal utilizado por el hombre. La primera industria minera reconocida de este metal se desarrolló en Nubia y Sudán durante las primeras dinastías faraónicas.

En Egipto, durante la 4ª Dinastía, pinturas de hace 6000 años, nos muestran las operaciones de preparación y lavado del metal precioso. La tecnología empleada, separación por gravedad en batea o corriente de agua, fue utilizada por todas las culturas posteriores. Este procedimiento, con muy pocas innovaciones se ha mantenido en

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. C/. Ríos Rosas, 21, 28003 Madrid.

solitario hasta el empleo industrial del mercurio ya en el siglo XVI. No obstante la amalgamación se conocía en la antigua Grecia y Roma, pero fue la necesidad del desarrollo de las minas de plata americanas quien empujó a esta tecnología como forma básica en el aprovechamiento de los metales preciosos. Las innovaciones hasta entonces se habían dirigido a buscar procedimientos de molienda de los minerales primarios tratando de recurrir a los yacimientos filonianos como apoyo a la producción de oro aluvionar (molinos de rueda, "arrastres", "trapiches", morteros, "bocartes" y otros muchos).

La segunda revolución ocurrió en 1886 en Inglaterra al proponer J.S. McArthur y W. Forrest un procedimiento que mediante cianuro potásico y sosa cáustica disolvía específicamente al oro y que luego podría ser precipitado mediante zinc metal. Su éxito fue tan notable que desde Nueva Zelanda en 1889 pasó, en 1890, al Transvaal. Con ello se accedía a la recuperación de las partículas finas parcialmente liberadas e incluso al aprovechamiento de residuos de procesados anteriores.

Desde entonces la mineralurgia del oro en su concepción fundamental ha quedado dividida en dos operaciones: recuperación gravimétrica para oro totalmente liberado (aluviones, eluviones, playas) y cianuración en partículas finas, y en general, para yacimientos primarios. El resto de los procesos (amalgamación, flotación, tostación) son sistemas de preparación, de preconcentración o de acabado final.



Formación del "bouillón" en La Lapilla (Huelva)

2. LAS EDADES DE LA MINERALURGIA DEL ORO

Algo ya se ha dicho. Han sido necesarios 40 siglos para innovar el proceso gravimétrico de recuperación del oro (bateas, canales, espirales, mesas durmientes).

La amalgamación ha acompañado a este proceso durante tres siglos más. Ya en el nuestro y a pesar de que los progresos en la preparación de minerales (trituration, moliendas finas, flotación) apoyados por la revolución tecnológica y económica han propiciado el desarrollo de mayores dimensiones industriales, mejoras de infraestructuras de todo orden, metodologías de control y planificación, etc. No es hasta la década de los 70 y sobretudo en los años 80, cuando surge la siguiente revolución: la lixiviación en pilas y la utilización del carbón activo.

Al amparo de un aumento espectacular del precio de los metales preciosos acaecido al final de la década de 1960 se planteó la recuperación de menas hasta ese momento despreciables por sus contenidos en oro. La utilización de procesos de riego con cianuro en montones se descubrió que suplía con cierta satisfacción una parte de la planta tradicional, que además era la más costosa de operación (molienda y reactor) a costa de reducir la recuperación del metal, pero a niveles tolerables debido al precio de oro y a la economía de escala que ello producía.

De esta forma se fueron desarrollando en el suroeste de Norteamérica (Nevada, Arizona y Nuevo Méjico) proyectos de gran envergadura que han permitido a esa nación ocupar el tercer puesto de la producción mundial.

A ello también han contribuido también la fiabilidad y el bajo coste que supone el empleo del carbón activado en la etapa de captación del oro cianurado. Este proceso se conocía desde hace ya muchos años, pero fueron los ingenieros del Bureau of Mines de los Estados Unidos quienes lo aplicaron a los nuevos proyectos que se estaban implantando en los estados del Sur. Desde entonces han surgido múltiples variantes y perfeccionamientos, pero hoy por hoy y con las correspondientes limitaciones, este es uno de los procesos imprescindibles en una nueva planta. Así desde su utilización en forma estática (colum-

nas) para adsorber el oro disuelto procedente de la lixiviación de las pilas de mineral, se pasó a su utilización en el flujo de pulpa con o sin etapa previa de cianuración ("carbon in pulp" o "carbon in leach"), con el enorme abaratamiento de operaciones que ello supone y la posibilidad de tratar minerales que contienen gran cantidad de arcillas.

Siguiendo esta evolución temporal llegamos al último episodio, el del aprovechamiento de las menas refractarias, después apenas dos décadas de innovaciones.

Existen en la naturaleza minerales que contienen oro en condiciones de acceso muy difíciles para las soluciones cianuradas. Ello puede ser debido a múltiples causas: "encapsulamiento o bloqueo" de sus partículas por otro mineral, sulfuros por ejemplo; combinaciones químicas del oro (teleruros de oro); presencia notable de sustancias carbonosas activas. La cianuración directa de estas menas producía recuperaciones muy escasas (inferiores al 50%, por lo general), que a pesar del mantenimiento de las cotizaciones del oro a niveles algo notables aún no eran capaces de superar su viabilidad económica. De ahí han surgido procesos nuevos ("lixiviación a presión") o perfeccionamiento de los ya existentes ("tostación de sulfuros en una o dos etapas", "cloración de minerales carbonosos"), cubriendo la casi totalidad de los problemas de recuperación.

Si reconsideramos la serie tecnológica temporal (6.000, 300, 90, 10 años) nos podemos preguntar si se presume el siguiente cambio o perfeccionamiento. A esa cuestión había que introducir una apreciación fundamental: el motor económico del proceso, es decir, la demanda futura, que hace reaccionar al mercado y por lo tanto provocar el proceso de innovación. El oro ha mantenido una cotización muy estable desde principios de los años 80. Es decir, se ha depreciado. Además en los últimos meses está sufriendo una crisis de precio debido a la recesión de los mercados asiáticos y a las ventas de "stocks" acumulados en importantes bancos. Por ello no es posible vaticinar una gran revolución a corto plazo (pocos años, en este caso). No obstante algo se vislumbra: el desarrollo de los procesos biotecnológicos aplicados a las menas sulfuradas de carácter refractario. Esta tecnología es ya una

realidad y existen plantas por todo el mundo con producciones muy variadas. El proceso posee ventajas indudables: baja inversión inicial, moderados costes de operación y beneficios ambientales comparativos.

En fin, esta innovación posee un atractivo innegable puesto que mejora de proyecto en proyecto y que irá de la mano del desarrollo de la biotecnología aplicada a otros procesos industriales. Probablemente nos encontramos en los primeros años de la revolución biotecnológica. En los próximos capítulos se puede completar esta visión de tendencias, en las que el aspecto económico (reducción de costes, aumento de recuperaciones de metal) va unido a un indispensable beneficio ambiental, para que la tecnología prospere.

3. LAS TECNOLOGÍAS TRADICIONALES

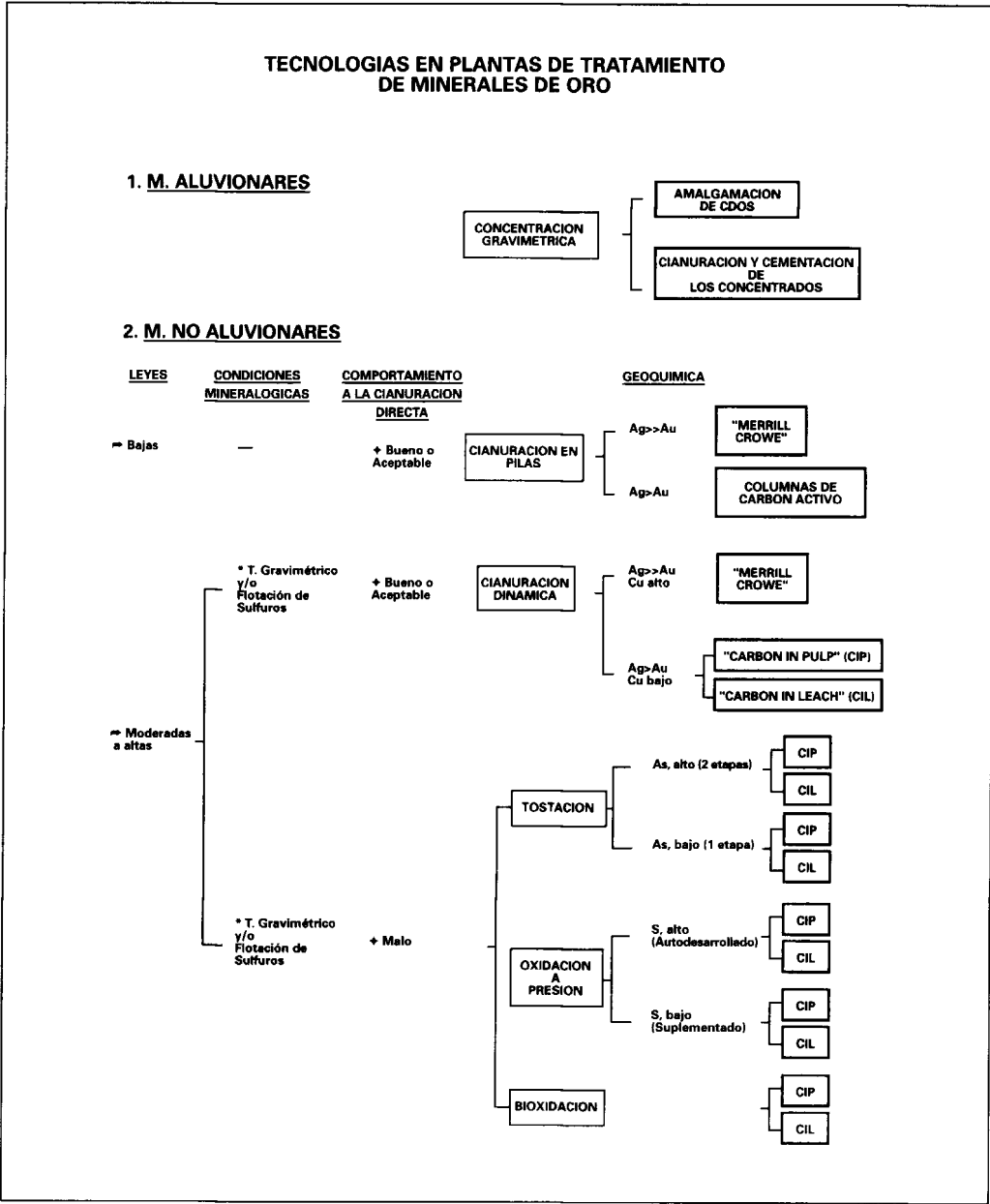
A lo largo de toda su historia la Humanidad ha aprovechado el oro contenido en los ríos o en los aluviones de sus antiguos cauces. La explotación de filones nunca ha sido comparable con el metal precioso extraído de los cursos fluviales. La razón reside en que el oro que en esas condiciones se encuentra totalmente liberado, se separa muy fácilmente de los materiales que lo contienen debido a su enorme contraste de densidades (19 sobre 2,7). Esta también es la causa de que la gravedad haya sido la fuerza empleada hasta hoy día, sobretudo en yacimientos aluvionares, en los que sus bajísimas leyes unitarias se ven compensadas por una muy buena recuperación del metal, y sobretudo, de unos bajos costes operativos. Los tres fenómenos se interrelacionan y dan lugar al aprovechamiento de estos recursos, con tendencia al tratamiento de minerales o aluviones muy bajos de riqueza y al gigantismo de las explotaciones, si bien las limitaciones medioambientales sobre zonas del territorio de elevado valor natural (cauces de los ríos) y de gran fragilidad hacen cada vez más problemática su explotación.

No obstante, el desarrollo tecnológico del oro aluvionar ha continuado su proceso, afectando al tamaño y eficiencia de las máquinas de dragado y de sus concentradores. En estos últimos destaca la orientación hacia la simplicidad, el

tamaño y el empleo de materiales resistentes y ligeros (plásticos sobretudo). De esta forma se extiende cada vez más el uso de las espirales triples, los conos (Reichert), los jigs circulares, y últimamente sistemas algo más innovadores como los concentradores Knelson, que aunque ya conocidos desde hace años, hoy se popularizan en muchas plantas y además aumentan su tamaño. Las mesas de sacudidas se mantienen casi exclusivamente en las etapas de afino.

Por otra parte el uso del mercurio en la fase del tratamiento de los concentrados se controla cada vez más, tratando de recuperar casi su totalidad en cada operación, y en muchos casos sustituyéndolo por un ataque final con cianuro sódico concentrado para posteriormente concentrar el oro disuelto mediante la adición de polvo de zinc.

Otro reto para este tipo de yacimientos es el de la racionalización de la pequeña y mediana minería,



más flexible y potencialmente más susceptible de control ambiental. Por ello hoy se dispone de plantas modulares y móviles, minidragas, laboratorios transportables, etc. En definitiva, un objetivo deseable sería la sustitución de la minería artesanal de fuerte impacto sobre el medio natural por otras explotaciones que conservando el empleo y distribución de la riqueza eliminase los vertidos incontrolados de mercurio y el arrasamiento de zonas de alto valor natural, como son los bosques tropicales.

4. LAS INNOVACIONES

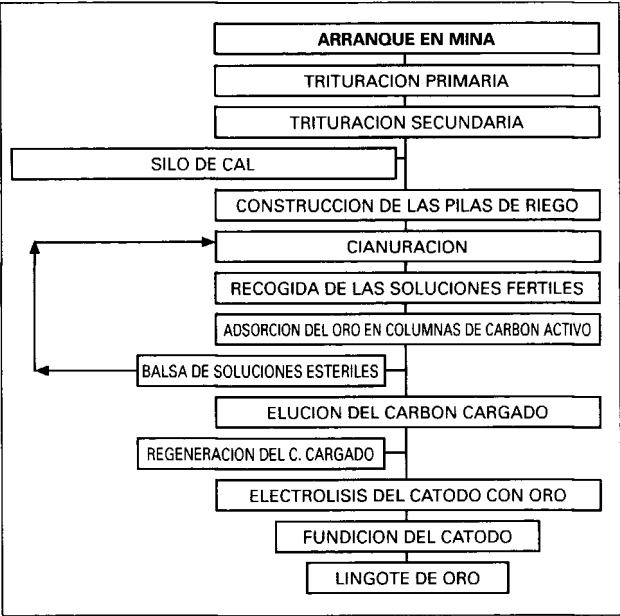
4.1. La Cianuración en Pilas: el gigantismo y las leyes increíbles

4.1.1. El Esquema Básico

De manera sintetizada, una planta de “cianuración” en pilas o “heap leaching” obedece a un diseño de una planta convencional en donde dos de sus secciones más importantes (molienda y lixiviación) han sido reemplazadas por las operaciones que de manera natural se realizan en el interior del montón de mineral regado con solución cianurante. Con ello las inversiones se reducen sustancialmente y los costes de operación se rebajan. Naturalmente para que ello funcione a un nivel aceptable también la pila exige su control y cuidados, sobretudo dedicados en conseguir un flujo de solución cianurada que alcance a toda la pila de manera uniforme, y además que el cianuro acceda a las partículas de oro contenido en el mineral triturado. Es todo un reto que debe ser premiado con una recuperación aceptable, siempre bastante inferior a la que se conseguiría con una molienda fina. Por ello su aplicación sería desaconsejada en minerales ricos o con dificultades de solubilización.

Las etapas fundamentales del proceso son las siguientes:

1- Diseño y construcción de la era de lixiviación. Resulta fundamental encontrar una solución de compromiso entre al tamaño del material triturado (de 4 mm a 200 mm) que asegure el acceso del cianuro a las partículas de oro pero que a la vez garantice una buena percolación y una altura de las pilas suficientemente estable. Las eras



Proceso-tipo de cianuración en pilas: “Heap Leaching”

pueden ser abandonables (riego desde unos días de forma continua a varios años de forma intermitente) o renovables (extrayendo las partes gastadas de las mismas).

Otro aspecto a considerar es la estanqueidad de la base, mediante arcilla apisonada, láminas de plástico, hormigones especiales y aglomerados asfálticos.

2- Trituración del mineral, aglomeración y apilado.

Es práctica universal aglomerar el producto triturado mediante la adición de cal, clinker o cemento, asegurando la percolación por eliminación de partículas finas a la vez que se va preparando el mineral con la modificación de su basicidad y la incorporación de una parte de cianuro. Después del ajuste final de cal (basicidad final para conseguir pH de disolución de 10 de 11), el producto se madura (horas o días) y se coloca en la era mediante sistemas que no compacten la pila (pala-camión, “stakers”)

3- Preparación de disoluciones lixiviantes, riego y recogida de soluciones fértiles.

El cianuro se prepara por solubilización del sólido en agua y se riega mediante variados sistemas (“splinkers”, inundación, goteo...). Las solucio-

nes se recogen por escurrido de la base de la pila y se almacenan en balsas a la intemperie, homogeneizándolas y enviándolas a proceso.

4- Precipitación del oro o captación del mismo por adsorción en carbón activado.

El uso del polvo de zinc (Merrill Crowe) como método de extracción del oro de las disoluciones fértiles ha quedado relegado a minerales con elevada proporción de plata ya que otro método significaría un gran dimensionamiento de la planta. Este sistema además debe incorporar las etapas de limpieza de las soluciones, una torre de desaireación (rebaja el consumo de zinc), filtrado del precipitado zinc-oro y calcinación del mismo para su introducción al horno de fusión.

El sistema de **Carbón Activo** es más sencillo y seguro. Incluye una etapa de adsorción del oro en columnas de carbón (en cascada), la elución del oro captado en el carbón (en frío o en caliente) y la electrolisis de la solución concentrada de oro. Además el carbón se debe regenerar (horno reductor) y lavar con ácido, antes de su reutilización. La lana de acero (cátodo de las celdas electrolíticas) con el oro contenido en ellas se envía al horno de fusión para obtener el doré (lingote impuro).

4.1.2. Las Innovaciones y Adaptaciones.

En la actualidad sobresalen los siguientes aspectos innovadores:

En las eras de lixiviación se cuida extraordinariamente su impermeabilización que debe ser compatible con el gigantismo de muchos de los proyectos. De las soluciones ensayadas en estos últimos años, el uso de geomembranas (varias capas en algunos casos) protegidas entre capas de arcilla apisonada es el método más común para eras abandonables. El PVC sustituye muchas veces al Polietileno de Alta Densidad como geomembrana.

El **apilamiento** con cintas transportadoras y "staker" al final aseguran una buena colocación con altos rendimientos. El avance telescópico automatizado, incluso con motor propio y cadenas en lugar de neumáticos es otra innovación para proyectos de gran envergadura.

En la pila, la tendencia generalizada es la de utilizar el riego por goteo, eliminando los pulverizadores, ahorrando así pérdidas por transporte y evaporación del agua.

También se ofertan aditivos para la solución cianurada de riego que según los fabricantes hace aumentar la recuperación de oro al favorecer el potencial humectante al reducir la tensión superficial de la disolución.

Se ha conseguido, también, mejorar la percolación a través de la pila mediante la aglomeración con polímeros, adicionando tan sólo 90 g/t en Brewer Gold (Carolina del Sur)

4.1.3. Situación Actual y Tendencias

En los últimos años el avance tecnológico acaecido en otros sistemas así como sus dimensiones ha afectado a la elección de este método, dejándolo relegado al aprovechamiento de minerales con leyes muy bajas y con notables dimensiones de operación. Esto incluye a las explotaciones mixtas en donde hoy se diseñan varios procesos, según las riquezas y comportamiento de los minerales al ataque de las soluciones cianuradas (oxidados, sulfurados, carbonosas, etc.) No obstante también existen pequeños y medianos proyectos que benefician el oro mediante riego al aire libre.

El tamaño de las operaciones y su contenido unitario de metales preciosos resulta ciertamente impresionante: en Montana (USA) se trabaja con un coste operativo de 100 pts/t y una ley de corte de 0,2 g Au/t para una planta que procesa 30.000 t diarias. Round Mountain en Nevada, lixivia 45.000 t/día con riquezas de 1,1 g Au/t.

Probablemente la mayor operación del mundo, en la actualidad, es la Murutan en Uzbekistán en donde se procesan 47.000 t por día recuperando entre el 50% y el 65% de los 1,1 a 1,6 g Au/t que contiene el mineral. La planta curiosamente procesa por el sistema Merrill Crowe (polvo de zinc).

Este método apenas se utiliza (sólo el 5% de las operaciones nuevas en Norteamérica en los últimos años). No obstante está indicado o es imprescindible en las siguientes situaciones:

- Proporción de Ag/Au, de al menos 10/1
- Soluciones lixiviadas muy ricas (>12 g/l de oro)
- Pequeñas plantas (<800 t/día)

Otro aspecto muy interesante es la protección del medio ambiente y la seguridad personal, que hoy más que nunca se cuida con mucha atención mediante un buen diseño de operación, una recirculación de soluciones, el lavado de pilas gastadas, la neutralización del cianuro en algún caso y los sistemas de control y seguimiento ambiental. Tal es el caso de Mesquite (California) en donde se ha instalado un proceso de alarmas de fugas gaseosas de cianuro.

4.2. La Cianuración Dinámica con Carbón Activo: una tecnología ya madura

4.2.1. El Esquema básico

Los procesos de cianuración en pulpa proceden de la concepción tradicional de liberar o hacer accesible a las partículas de oro una solución cianurada. Por ello la pulpa de mineral se realiza a tamaños cuando menos de 200 mallas. El resto del proceso ha sufrido importantes cambios con la introducción del carbón activado como elemento captador del oro disuelto. Así, se ha simplificado enormemente el diseño, se han eliminado las costosas y voluminosas etapas de lavado en contracorriente (CCD), y al actuar en pulpa, casi todo el proceso se ha reducido llevando consigo una notable disminución en las dimensiones de la planta. Además se aumenta la seguridad ante las pérdidas fortuitas y el producto final ("bouillón") resulta más rico.

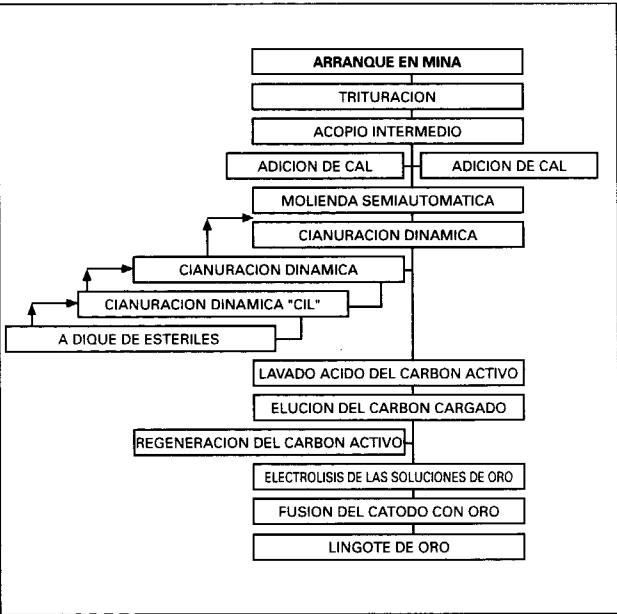
Las etapas fundamentales son las siguientes:

1- Trituración y Molienda

Dependiendo del nivel de coherencia del mineral (generalmente muy duro y abrasivo) se diseñan circuitos con 3 ó 4 etapas de trituración y dos de molienda a fin de conseguir tamaños de partículas de 75 micras.

2- Cianuración

La puesta en solución del oro se consigue mediante la adición de una disolución cianurada a una pulpa que contiene una proporción de 45%



Planta-tipo de cianuración dinámica: "Carbón in Leach"

de sólidos, una vez ajustado su pH con cal. Se puede realizar de dos maneras:

- "Carbon in Pulp" (CIP). Se realiza la digestión del oro en tanques con agitación mecánica de la mezcla sólido-agua y la inyección de aire. Posteriormente, en otros tanques, se agrega carbón activo a la pulpa, fluyendo ésta en cascada en varias etapas (5 a 12) mientras se mantiene la agitación mecánica y la inyección de aire. El carbón viaja a contracorriente, y en cada etapa se extrae este producto mediante rejillas fijas que retienen los granos de carbón, mucho mayores que los del mineral. Es natural encontrar tanques de aireación previa o final. El tiempo de retención del mineral durante el proceso gira alrededor de 24 horas, si bien existen muchas excepciones.

- "Carbon in leach" (CIL). Es una variante del anterior. Más sencilla puesto que suprime la etapa de cianuración previa, y por lo tanto en los agitadores se realiza tanto el proceso de disolución del oro como su adsorción en el carbón.

Actualmente predominan las plantas diseñadas en proceso CIL, puesto que si se demuestra que produce recuperaciones semejantes al CIP para un determinado mineral, se reduce el tiempo de retención y por lo tanto el número de etapas. Su

contrapartida se refiere a la necesidad de trabajar con mayor cantidad de carbón activado.

3- Elución del oro y regeneración del carbón

El oro puede ser eluido a presión o en condiciones ambientales y siempre en caliente, mediante una solución con elevado contenido en cianuro. El carbón residual se lava con ácido antes de reutilizarse de nuevo, y posteriormente se regenera en un horno reductor.

4- Etapa final de recuperación del oro y fusión

La solución rica obtenida en la elución del carbón se envía a una electrólisis con cátodos de lana de acero en donde se deposita el oro. También, cada vez más se precipita el metal precioso mediante su cementación con polvo de zinc. Esta operación es más sencilla, pero necesita de un filtrado posterior y una calcinación antes de fundirlo en el horno para extraer el "bouillon" o "doré". Además el zinc contamina el lingote, rebajando su riqueza final. La lana de acero sufre una fusión en un horno semejante.

5- Neutralización del cianuro

Antes de enviar la pulpa al dique de estériles puede sufrir una destrucción del cianuro residual que contiene, mediante cada vez más, variados procedimientos: por oxidación con H₂O₂, por medio de SO₂, por cloración, y por otros más.

4.2.2. Las innovaciones y adaptaciones

En la preparación del mineral para su lixiviación con cianuro, este proceso se beneficia de los progresos acaecidos en la trituración y molienda de los últimos años. Así, las plantas móviles, la trituración con agua, y la introducción de los nuevos molinos de rodillo son avances muy adecuados al objetivo de reducir costes dentro de un procedimiento insensible (cuando no favorable) a la producción de finos.

En el **proceso del carbón activo**, además de la búsqueda y el empleo (todavía limitado) del carbón extraído, se ha generalizado el uso de disolventes orgánicos en depósitos a sobrepresión, abandonando los sistemas a presión atmosférica. También puede considerarse como innovación el empleo de lana de acero inoxidable en las **celdas**

electrolíticas que posibilitan una mayor densidad de corriente y mucha mayor concentración de oro en el cátodo.

Por otra parte la cementación con polvo de zinc de las soluciones ricas eluidas presentan ventajas indudables como son una mayor seguridad, el mejor control del mercurio (cuando se haya presentado) y sobretodo menor coste de capital. La **electrónica de control** de procesos alcanza a todas las secciones de una planta, y de esta manera se optimizan los circuitos de molienda, la dosificación de reactivos y el control analítico en tiempo real (cianuro sobretodo).

También, en el mercado aparecen reactivos que según sus fabricantes incrementan la recuperación de metales preciosos por producir mayor efectividad en la oxidación (H₂O₂), y también se ensaya el aporte de oxígeno al proceso (Africa del Sur). Se mencionan las excelencias de nuevos reactores, como los de tipo Jet (Australia) en dónde una mayor velocidad de la pulpa produce microfisuras que a su vez provocan una mayor recuperación de oro y menor tiempo de retención.

4.2.3. Situación actual y las tendencias

El aumento de tamaño de las operaciones mineras es una característica actual de la minería del oro en su afán de recuperar minerales con leyes bajas, allí en donde el "heap leaching" no resulta efectivo: áreas con fuertes lluvias, por ejemplo, y sobretodo en menas con dificultades de rendimiento en tamaños de molienda gruesos. De esta manera contemplamos plantas como la de Ridgeway en Carolina del Sur con tratamiento de 16.500 t diarias y leyes en cabeza de 1 g Au/t.

También en Estados Unidos, Newmont en 14 plantas situadas de Nevada procesa conjuntamente casi 20.000 t al día. Todo ello significa fuertes cambios en una infraestructura tradicional, y otro incluso en la producción de suministros y reactivos (cianuro sódico, por ejemplo) en el área misma de tratamiento. En la sección de molienda se incluye, siempre que la naturaleza del mineral lo permite, la molienda semiautógena (SAG). La preparación del mineral, en etapas, también pro-

picia el empleo de sistemas tan baratos como los gravimétricos en la primera fase de concentración. Ello se ha generalizado extensamente, y las secciones de conos Reichert, espirales de Mineral Deposits, los concentradores Nelson, se encuentran presentes en muchas plantas: OK Tedi y Porgera (N. Guinea), Obrasi (Ghana), Morro de Ouro (Brasil), Homestake en Lead (US), son ejemplos de operaciones de gran envergadura, pero existen otros muchos más.

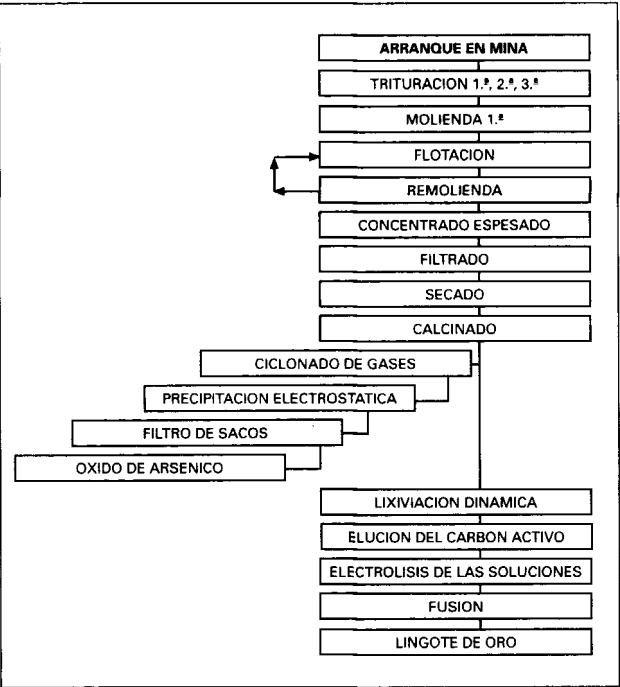
Los sistemas de lixiviación dinámica con CIP o CIL seguirán siendo los casos básicos de la mineralurgia del oro ya que no se encuentran tan sensibilizados a su cotización como en los procesos de cianuración en pilas, ni a los condicionamientos de impuestos en tecnologías necesarias para los minerales refractarios. Además, a corto plazo resulta el procedimiento más receptivo a todo tipo de innovaciones que se producen en otros campos de la mineralurgia.

También hay que considerar que la última parte del proceso (las secciones CIL y CIP) son componentes fundamentales del diseño del tratamiento de sulfuros con oro refractario, que veremos a continuación o bien como complemento final de las etapas de recuperación de concentrados de plantas de flotación de sulfuros cianurables directamente.

4.3. Las nuevas plantas de tostación: un viejo sistema recuperado

4.3.1. El Esquema básico

Hasta hace poco la tostación oxidante era el único recurso para la recuperación de oro en minerales sulfurados de marcado comportamiento refractario. Ello era debido fundamentalmente al bloqueamiento de las pequeñas partículas de metal en los sulfuros masivos o bien por la presencia de otros metales muy consumidores de cianuro (cianicidas). Hoy este procedimiento está resurgiendo en casos muy específicos a pesar de que no existe parte alguna del planeta que no disponga de regulaciones de protección ambiental. Sería inconcebible una emisión libre de SO₂, arsénico y otros metales a la atmósfera puesto que las políticas de los consumidores se dirigen hacia la adquisición de pro-



Planta-tipo de tostación

ductos que en origen no contaminan (hasta cierto punto).

Por ello las innovaciones se han dirigido hacia procesos que eliminan o al menos limitan las emisiones de azufre y arsénico. Las etapas de la operación son las siguientes:

1- Producción del concentrado

Generalmente procede de un proceso de flotación de sulfuros y debe de ser convenientemente secado en un horno rotativo.

2- Tostación en dos etapas

Los reactivos suelen ser de lecho fluido. En la primera fase se realiza una tostación con deficiencia de oxígeno y ello produce un residuo bajo en arsénico y rico en magnetita, recogiendo el arsénico como óxido metálico en los filtros (electrostáticos). En la segunda etapa, ya en ambiente más oxidante, la magnetita es transformada en hematites. De esta manera el óxido de arsénico no reacciona con la magnetita y puede ser condensado y recogido.

La temperatura del proceso debe ser cuidadosa-

mente controlada para minimizar la concentración de SO_3 y evitar la condensación del ácido sulfúrico con el óxido de arsénico. Para ello el rango de temperatura debe situarse entre los 600° y 800° . También debe cuidarse el no alcanzar más altas temperaturas, ya que provocaría una recristalización y sinterización de la carga, aumentando la resistencia a la lixiviación del oro.

Como subproductos del proceso aparecerán el ácido sulfúrico y el arsénico.

3- Limpieza, lavado y neutralización

Los gases limpios se envían (si procede) a la planta de ácido sulfúrico o se neutralizan, de la misma manera que el mineral calcinado se lava con agua y sulfúrico y se neutralizan los líquidos resultantes con lechadas de cal.

4- Molienda y cianuración

El producto calcinado ha de molerse finamente para que las soluciones cianuradas accedan a las pequeñas partículas de oro, ahora mejor comunicadas por canales y fisuras, como consecuencia de la tostación.

El proceso de la lixiviación por cianuro se suele realizar con tecnología CIL ("carbon in leach") lográndose en muchos casos rendimientos muy notables (superiores siempre al 90%).

4.3.2. Las innovaciones y adaptaciones

Toda la nueva concepción de las nuevas plantas de tostación van dirigidas a la eliminación drástica de emisión de contaminantes a la atmósfera, cuestión que se consigue con el proceso en dos etapas y con una gran calidad en los filtros de captación de polvos (electrostáticos y de mangas). Esta operación encarece el sistema, tanto en coste de capital como en su mantenimiento.

Por supuesto también hay que conseguir una buena preparación para el ataque posterior de la solución cianurada, abriendo huecos y caminos en el grano calcinado y además evitar que permanezcan en el residuo cianicidas que invalidan esta operación final.

Aunque pueden ser utilizadas gran variedad de configuraciones de hornos para estos objetivos,

se ha generalizado el reactor de lecho fluido que significa un menor precio de instalación, mayor flexibilidad ante distintas características de las cargas introducidas y un mayor control, tanto del proceso como de los productos de la tostación. También se ensayan esquemas de tostación por el procedimiento Flash (el aire de combustión entra por la base del horno transportando la carga mineral). Además, puesto que la planta no sólo consiste en el horno de tostación, hoy los elementos auxiliares (compresores de aire, transmisores de calor, ciclones, ventiladores, "scrubbers", analizadores y controladores) se benefician de una calidad tecnológica no comparable con la de hace pocos años.

Otra innovación que se dirige a un menor coste de operación es la molienda en seco en la fase de preparación del mineral para su introducción en el horno de lecho fluido. Fluor Daniel Wright Engineers ha diseñado molinos de bolas divididos en dos compartimentos con una cámara de secado. El sistema opera con dos clasificadores de aire en circuito cerrado, recogiendo los polvos formados (65 micras) en un filtro de mangas y mandándolos a un silo de almacenamiento intermedio. También, la mina de Cortez (Nevada, USA) muele en seco, con sistema semiautógeno, introduciendo aire caliente procedente del horno y suplementando con un generador tradicional. Otras plantas que utilizan esta modalidad son las de Jerit Canyon, Big Springs y Golden Bear, todas en América del Norte.

Los principales problemas que aquejan a todas las plantas de tostación se refieren al manejo de su carga, es decir, los polvos fugitivos y la fluidificación de los mismos.

Aunque de manera aún no comercial se ha investigado (MINTEK, Africa del Sur y en Australia) la vía **pirólisis-oxidación**, en donde en una primera fase se tostará a baja temperatura, transformando la arsenopirita en pirrotita (porosa y accesible al cianuro) y recuperando el azufre en su forma elemental.

4.3.3. Situación actual y tendencias

La tostación como proceso previo a la cianuración es acaso tan antiguo como ella misma. La

nueva planta funcionó en el año 1889 en Nueva Zelanda y en 1890 en Africa del Sur. Su objetivo era tratar minerales con oro – telururos de carácter muy refractario. Desde entonces han existido gran variedad de hornos de tostación para eliminar esta característica provocada por sustancias reactivas carbonosas, diseminaciones muy finas en sulfuros, (oro-arsenopirita sobretodo), telururos y otros.

En los últimos años se han ido construyendo nuevas plantas, muchas de gran magnitud, a una cadencia de más de una por año. En todos los casos se alcanzan recuperaciones totales del oro superiores al 90%.

Los sistemas de protección ambiental hace que este procedimiento eleve su coste de tratamiento que aunque tampoco difiere sustancialmente de otros procesos de recuperación de oro refractario, sí es suficiente para imponer restricciones económicas a su uso, exigiendo leyes de entrada suficientemente altas. Resulta también muy usual encontrar la tostación de minerales refractarios a continuación de un proceso previo de concentración de sulfuros por flotación. Ello significa una sustancial reducción del tamaño de la planta, pero que también exige a la primera etapa una excelente recuperación del oro contenido, a fin de que el rendimiento metalúrgico combinado sea alto (>90%).

Otro aspecto muy importante es el de la utilización de los gases residuales (SO_2 sobretodo) ya que el arsénico en su forma oxidada puede ser colocado en el mercado (aunque con bastante saturación). El procedimiento natural es su utilización en la fabricación de ácido sulfúrico, añadiendo una planta de producción al concentrador principal. Por supuesto, el problema existe en un mercado con sobreoferta de este ácido. La otra alternativa de neutralización con cal y formación de yeso presenta también su problemática particular (acopio, colocación industrial, limpieza...) Como idea, el procesador de EMPEROR (I. FIJI) dirige estos gases hacia la neutralización del cianuro residual de la sección de lixiviación.

Como se puede apreciar, el campo de aplicación está muy definido: minerales (sulfuros) refractarios al cianuro, leyes suficientes y sobretodo una

muy buena calidad tecnológica que convenza y pase los requisitos medioambientales de las regiones en donde se pretende instalar.

4.4. La Lixiviación a Presión: una verdadera innovación

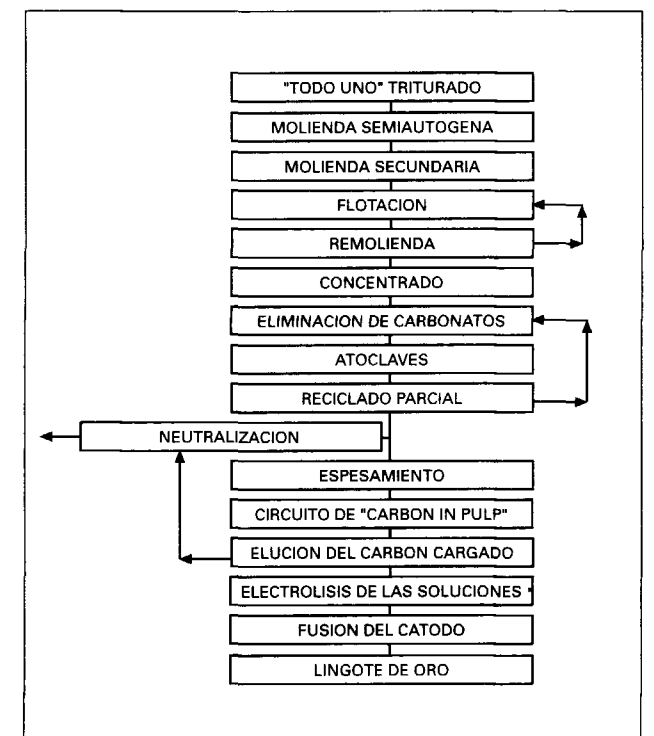
4.4.1. El Esquema básico

El objetivo del método es la oxidación y la solubilización de los sulfuros que transporta el oro encapsulado, produciendo por lo tanto un acceso fácil al cianuro en la última etapa del proceso.

Las fases fundamentales son las siguientes:

1- Trituración y Molienda

En ella se pueden incluir la molienda y el acondicionamiento de la pulpa producida. Puesto que el "todo-uno" que llega a la planta puede contener apreciables cantidades de carbonatos, la entrada se acondiciona con ácido, preferiblemente obtenido del lavado de la descarga del autoclave. Ello sirve para favorecer la utilización del oxígeno en la etapa siguiente.



Planta-tipo de Lixiviación a Presión

2- Oxidación a presión

En los autoclaves se realiza esta función. En ellos a una presión entre 1800 a 2200 kPa y a una temperatura de 180° a 210° C, y mediante una inyección de oxígeno se realiza una completa oxidación de los sulfuros después de 1 a 3 horas de residencia. Los parámetros que afectan a la oxidación de los sulfuros son la acidez y la temperatura. La primera variable crítica es la oxidación del azufre: mientras que una alta temperatura puede desarrollar la formación de azufre elemental que bloquea las partículas de oro. Además, la formación de jarosita hace lo mismo con los minerales de plata durante la etapa de cianuración.

El carácter ácido de la operación y la elevada temperatura requieren materiales especiales en la vasija del reactor. De esta manera se construyen de titanio con los inconvenientes de una limitación de temperatura en atmósferas con altas cantidades de oxígeno (combustión del metal), pero quizás la configuración más generalizada son los de acero con plano y revestimiento de ladrillos refractarios. La configuración es un elemento crítico tanto en la inversión como en los costos de mantenimiento, y se sigue investigando en otras alternativas. Así, Sherrit Gordon debe su indudable éxito a las temperaturas y el mayor tiempo de retención en el primer comparativo de un reactor de múltiples cámaras.

También se trabaja en otras configuraciones de flujo, como es la recirculación de sólidos desde la salida del autoclave a su entrada a fin de diluir el contenido de azufre (hasta un máximo del 6%) y evitar los problemas de bloqueamiento de partículas de oro.

3- Preparación de la cianuración

La descarga de la pulpa desde el reactor se enfría y se somete a una separación de los sólidos en espesadores para obtener ácido, el arsénico disuelto y los sulfatos metálicos. Después esta pulpa se lava para eliminar los posibles cianidos (cobre y zinc) y además otros metales como el aluminio, hierro y magnesio que precipitarían en forma de barros que ocuyen partículas y los gramos de carbón activo). Por otra parte una fracción del ácido formado se recircula a la etapa de acondicionamiento mientras que el resto debe ser debidamente neutralizado con cal o caliza.

Al final la masa de hidróxidos arseniatos y sobre todo de yeso precipitado del ácido residual puede ser considerable (dependiendo de la proporción de sulfuros en la entrada), excediendo el peso del mineral de entrada a proceso en el caso del tratamiento de concentrados de flotación de alto grado.

En principio, el sistema empleado en estas plantas, no difiere sustancialmente del estándar de otras plantas de cianuración directa. De esta manera el método de carbón activado es el más universalmente utilizado, dependiendo claro está, de las condiciones del mineral (CIP o CIL).

En conjunto, sobresale la alta recuperación que suele obtenerse, ya que la oxidación de los sulfuros que se consigue es casi total y el rendimiento final puede llegar hasta el 98% del oro contenido. Además la operación se realiza de manera muy rápida.

Todos los flujos residuales se reincorporan al proceso una vez neutralizados tratando de conseguir con ello disposiciones de mínimo impacto ambiental por contaminación de efluentes.

4.4.2. Las Innovaciones y Adaptaciones

La existencia de grandes cantidades de carbonatos en el mineral de entrada a la planta han obligado a Barrick Mercur en Nevada (USA) a un diseño nuevo, empleando un medio alcalino en el autoclave. Con ello los materiales de construcción del reactor no son tan exigentes. Sin embargo, ello significa altos consumos de cianuro sódico, además del problema que significa el almacenamiento del arsénico obtenido (Na_3AsO_4).

Por otro lado, una característica acaso universal del empleo de este método, es su baja recuperación de la plata contenida a causa de la formación de argentojarosita. Sin embargo este problema casi se ha solucionado al emplear un tratamiento de cal en caliente después de extraer el ácido.

También se sigue pensando en la utilización de la thiourea como medio lixivante, reemplazando al cianuro sódico ya que pudiera ofrecer varias ventajas operativas, tales como: la eliminación de las

etapas de neutralización y lavado ya que el medio en donde trabaja este reactivo es el ácido. De igual manera reduce la formación de barros finos, de la viscosidad de la pulpa, del coste de la utilización de cal y de la desestabilización de los arseniatos precipitados.

4.4.3. Situación actual y tendencias

La lixiviación a presión puede aplicarse a prácticamente todo tipo de menas, a excepción de las que su carácter de refractaridad está ligado a una silicificación del oro y en algunos casos de elevada presencia de carbonatos. Además las recuperaciones suelen ser muy altas y apropiadas al oro refractario en sulfuros con o sin arsenopirita. En general la tecnología está en fase de desarrollo y en algunos aspectos ya madura.

En la mayoría de los proyectos es preferible una etapa previa de concentración de los sulfuros mediante la flotación. En este caso además de reducir el tamaño de las instalaciones se accede a la posibilidad de ser autosuficiente en términos de energía, no sólo para alcanzar la temperatura del proceso, sino incluso de generar electricidad para la planta en su conjunto.

Otro objetivo de la flotación es el de eliminar ganga consumidora de reactivos (ácidos, CN) en las fases posteriores o que puedan dañar a la estructura del reactor. Una pobre respuesta a la flotación o un excesivo contenido de carbonatos pueden evitar este proceso o bien dirigido al medio alcalino que se ha mencionado antes. Por otra parte no es necesario alcanzar en la flotación las concentraciones requeridas para un proceso de tostación, con lo cual se puede asegurar una buena recuperación del oro, al no apurar tanto la ley del concentrado.

Otro punto crítico de decisión es la finura de la molienda: un tamaño de partícula muy fino aumenta la reactividad y por lo tanto disminuye el tiempo de retención en el autoclave, sin embargo puede causar problemas en la operación de separación sólido-líquido posterior al reactor.

Entre las ventajas del método de Lixiviación a Presión destacan los siguientes: no es sensible a

elementos indeseables como el Sb y el Pb, sus altos rendimientos metalúrgicos para el oro y su flexibilidad de elección "todo-uno" o "concentrados". Además no hay que olvidar la seguridad medioambiental que este método proporciona, sobretodo si la comparamos con la tostación en lecho fluido. Entre los riesgos que el sistema proporciona sobresalen las fugas de presión en el autoclave. Los costes de operación son más elevados que los de sus competidores fundamentales (tostación y biolixiviación), siendo los del consumo de oxígeno (60%) y de neutralización (25%) los más importantes entre los costes directos.

Después de más de una década de desarrollo del proceso, a la cabeza del diseño y ejecución de plantas se sitúa la ingeniería de Sherrit Gordon y Wright Engineers.

El tamaño de las operaciones no parece poseer, por ahora, limitaciones. Se mencionan algunos de los últimos proyectos puestos ya en marcha:

- PORGERA (Nueva Guinea): 7.300 toneladas diarias que pasan por una primera etapa de flotación.
- CONE TREE (Nevada): 2.500 t/d. Posee flotación previa. Es autosuficiente en energía.
- GOLDSTRIKE (Nevada): 16.000 t/d. Es la mayor instalación de esta tecnología. Posee varios reactores recubiertos de ladrillos refractarios.
- LIHIR (Nueva Guinea): 9.000 t/d. Es una instalación de Sherrit Gordon.
- MERCUR (Utah): 5.000 t/d. La carga debe ser calentada puesto que sólo posee un 1,7% de azufre. Tecnología Getty.

4.5. La Biooxidación: está comenzando el futuro

4.5.1. El Esquema básico

El proceso de oxidación biológica se divide en tres etapas:

La preparación del mineral puede consistir en una molienda e introducción en la segunda fase biológica o bien en una fase de flotación de sulfuros antes de su ataque bacteriano.

La etapa de reacción biológica se realiza en tan-

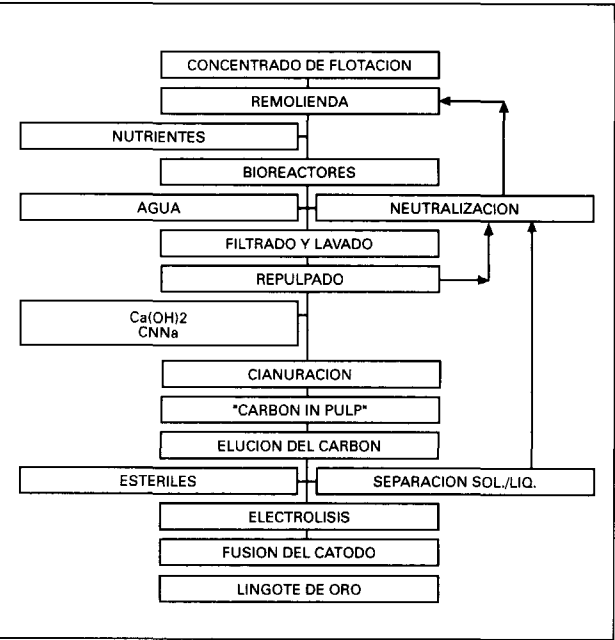


Diagrama-tipo de una planta de Biooxidación

ques agitadores conteniendo cultivos de bacterias, "Thiobacillus Ferroxidans" sobretodo, que en caliente oxidan los sulfuros rompiendo su estructura, dejando así el mineral preparado para la disolución final del oro en la siguiente etapa. Realmente la oxidación de los sulfuros procede de dos mecanismos: 1) un ataque directo microbiano que destruye su configuración, y/o 2) un ataque indirecto (bacteriamente asistido), contribuyendo a la regeneración del ión ferroso a férrico, que es el vector de actividad química de la reacción. En operación, la pirita y sobretodo la arsenopirita que son los sulfuros que llevan en sí el oro encapsulado son oxidados en preparaciones entre el 40% y el 60% de sólidos, límite que por otra parte es deficiente para inducir una solubilización final con cianuro sódico con una recuperación aceptable. Esta operación se realiza a una velocidad de un millón de veces más rápida que si se procediese en las condiciones naturales.

Para conseguir una eficiente multiplicación de las bacterias se inyecta aire y las conducciones del medio se mantienen muy ácidas en un reactor con agitación. Las bacterias Thiobacillus obtienen la energía necesaria para su crecimiento y

reproducción a partir de la oxidación de las formas reducidas el hierro y del azufre.

Estos organismos requieren oxígeno y dióxido de carbono, obtenidos del aire, además de pequeñas cantidades de fósforo y nitrógeno. Según la tecnología aplicada (se patenta y protege el cultivo bacteriano) el medio biológico vive y destruye los sulfuros a temperatura moderada (40-45 °C) o moderada-alta (45° a 55° C).

Posteriormente a esta reacción los sólidos son lavados, retirando el hierro soluble, el cobre y el ácido residual para reducir el consumo de cal en la fase de cianuración (se efectúa obligatoriamente en medio básico).

En la tercera etapa, la cianuración del residuo sólido es atacada con una solución cianurada en medio básico. Por ello una vez filtrado este residuo y lavado convenientemente, se vuelve a repulpar, se ajusta el pH, se adiciona el cianuro y se manda a los reactores CIP ("Carbon in pulp") o CIL ("Carbon in leach"). El resto del proceso corresponde a una fase convencional de lixiviación cianurada.

4.5.2. Las innovaciones y adaptaciones

Existen dos tecnologías fundamentales que tienen mucho que ver con las cepas de bacterias que las soportan. El proceso Biox trabaja con bacterias de moderada temperatura (mesófilas) y únicamente funcionan en la actualidad un proyecto con el sistema Bac Tech (Australia) que utiliza bacterias termófilas a algo más de temperatura. Como las reacciones son exotérmicas el hecho de que los cultivos bacterianos soporten mayores temperaturas, significa no consumir energía en su enfriamiento, con lo cual se rebajan los costes de operación y sus inversiones en equipos. También se han ensayado cepas de bacterias extremadamente termófilas en medios con temperaturas de 60° a 90° C y han demostrado su efectividad sobre minerales tan refractarios como la calcopirita.

Aunque todavía no funciona una operación minera con tratamiento en pilas y usando cultivos de bacterias en los montones de mineral, se ha ensayado en varias ocasiones. El proceso con-

sistiría en un apilamiento del mineral triturado que se riega con una solución ácida conteniendo las bacterias oxidantes (Thiobacillus y Leptospirillum). Cuando se haya alcanzado el conveniente grado de oxidación, las pilas se riegan con agua para extraer el ácido y otros elementos solubles. Después se añadiría la cal y se regaría con cianuro. Naturalmente el inconveniente del método es el común a las operaciones con riego en montones: el rendimiento metalúrgico es bastante más bajo que en la lixiviación dinámica, además de consumir bastante tiempo para completar la operación (de dos a tres meses).

4.5.3. Sistema actual y tendencias

Existen dos factores de trascendencia que afectan a la economía del proceso de biooxidación:

- La cantidad de sulfuro que debe ser degradado por las bacterias para conseguir una recuperación aceptable del oro.
- La velocidad a la cual las bacterias destruyen el sulfuro, influenciando así las inversiones (el tamaño y el número de etapas de los reactores).

Naturalmente se cuenta con que una de las mayores ventajas de la lixiviación bacteriana es su capacidad para atacar selectivamente a diferentes minerales a diferentes velocidades.

Otras ventajas reconocidas son las siguientes:

- Esta tecnología ofrece unas bajas inversiones con unos costes de operación moderados.
- La planta de biolixiviación es muy similar a la requerida para un CIP y es simple de operar.
- El proceso es muy ventajoso en su relación con su entorno natural puesto que no existen emisiones tóxicas.

Naturalmente, no todos estos aspectos favorables son universalmente compartidos, sobretodo los de tipo económico. No obstante incluso cuando se cuestiona que los costes de operación no son más bajos que los de otras tecnologías de tratamiento de minerales refractarios (debido a veces a la energía empleada en la agitación y el enfriamiento del reactor), lo que sí no se debate son los reducidos costes de capital en las instalaciones de biooxidación. Sobre este y otros factores

(tiempo de construcción, grado de recuperación del oro) se han realizado bastantes estudios, casi siempre favorables al método biológico.

Un factor que ha sido decisivo hasta hace poco tiempo (teniendo en cuenta, por otra parte, la extraordinaria juventud de la tecnología) es su grado de madurez, que ha limitado su uso, aún después de haber comprobado en montajes piloto su eficacia y economicidad. Así en un trabajo del CIM Bulletin del año 1994, se presentan por R. Lawrence el número de nuevas plantas tratando minerales refractarios de oro:

* Tostación	12
* Oxidación a Presión .	12
* Bioxidación	6

Las plantas en operación abarcan tonelajes diarios muy variados, desde 35 t/día (Fairview, Africa del Sur) a 720 t/día (Ashanti, Ghana), casi siempre con concentración previa por flotación. La mayoría funcionan con la tecnología BIOX aunque la australiana Bac Tech no ha disminuido la realización de tests y ensayos de recuperación para otros posibles proyectos.

En definitiva, a la biolixiviación le resta muy poco tiempo para considerarla como una tecnología madura y consolidada. Su adaptabilidad y sus rendimientos económicos la harán cada vez más atractiva (prácticamente no existe en el hemisferio norte) que revalidará su posición a pesar de tener que medirse con otros procesos muy innovadores, más aún, cuando el objetivo de muchas empresas, en la actualidad, es calificar sus recursos minerales a los precios más bajos que los de la competencia, para superar los ciclos de baja cotización, tal como en este momento sucede.

4.6. Otros procesos: su carácter auxiliar

4.6.1. Los esquemas básicos

Nos referimos a sistemas que no constituyen en sí mismos la solución al problema de la recuperación total del oro contenido en los minerales auríferos sino más bien forman una parte del proceso global. Veamos algunos de ellos.

La Flotación. La recuperación del oro presente en

los sulfuros siempre se ha abordado mediante la flotación convencional de estos minerales, obteniéndose un concentrado (global) que muchas veces se enviaba directamente a fundición debido a su carácter refractario.

Hoy, al contar con más herramientas mineralúrgicas, se consideran otras alternativas, que corresponden a los procesos anteriormente tratados. Como regla general, si el concentrado de flotación alcanza valores cercanos o superiores a los 100 g Au/t se envía directamente a fundiciones, a veces muy lejanas. Si no se cumple ese límite, este concentrado sufriría un tratamiento previo para eliminar su refractariedad a las soluciones cianuradas (tostación en dos fases, lixiviación a presión, o bien un proceso de biooxidación previa). Además, si existiese una incompleta recuperación de los sulfuros, se conserva una línea de cianuración de los estériles de esa flotación, que a la vez aprovecha las especies no sulfuradas.

También, actualmente se ensaya y se emplea la flotación para eliminar minerales y sustancias no deseables que interfieren en los procesos posteriores. Así se desalojan los carbonatos consumidores de ácido en la lixiviación a presión y se reduce el contenido de materia orgánica en minerales auríferos en Nevada (USA).

La Oxidación Ácida. Este procedimiento en su esquema básico no posee el menor carácter innovador. El carácter refractario de algunas menas debido a la presencia de sustancias carbonosas siempre despertó el interés acerca de la posibilidad de solubilización del oro en medio ácido.

Actualmente se ensayan sistemas patentados, utilizando la oxidación nítrica. De esta manera Arseno y Nitrox trabajan a baja temperatura, mientras que Redox lo hace a baja presión. La oxidación con cloro se emplea en Jerrit Canyon (Nevada) y siempre que la proporción de sulfuros no sea elevada (0,5% a 1%) debido al excesivo reactivo consumido.

La Resina en Pulpa (RIP). Resulta inevitable hablar de la más prometedora alternativa al empleo del carbón activo, que hasta hoy se ha utilizado en contados casos (Sudáfrica y Rusia).

El empleo de columnas cargadas con resinas intercambiadas muy selectivas presenta sobre el papel indudables ventajas:

- Mayor duración que el carbón activado
- Ser más selectivas
- No necesitar regeneración térmica
- Mayor capacidad de adsorción
- Mayor rapidez en la captación del oro
- Menor inversión en instalaciones

En fin, toda una serie de aspectos enormemente favorables que se contrarrestan, hoy por hoy, debido a su mayor coste. Algo que a simple vista puede parecer solucionable y que debe tener asegurado su puesto en las futuras plantas de tratamiento.

4.6.2. Las innovaciones y adaptaciones

En la flotación se han introducido las innovaciones propias del sistema que han aparecido en los últimos años: Celdas Jamenson y de Columna, sobretudo aplicadas en yacimientos de Nevada (Austin Gold Venture, Mc Coy Mine). Otro aspecto interesante es el uso de este sistema en Morro de Ouro en Brasil, en donde la simplificación del método unido al elevado tonelaje de tratamiento hace posible el procesado de minerales con tan sólo 0,60 g Au/t. Además, se ensaya la flotación para recuperar menas carbonáceas, eliminando la materia orgánica.

En la oxidación sobresalen las innovaciones de la cloración tipo "flash", empleada en la mina de Hartebeesfontain, que consiste en el uso de agitadores que producen una gran dispersión del cloro gas y una gran eficiencia, eliminando así la fase de preparación. En Jerrit Canyon se realiza en tanques cerrados y en medio básico a 50°C, salvando así la notable proporción de sulfuros, que en principio invalidaría el procedimiento.

4.6.3. Las tendencias

En este caso, debido a su carácter especialmente auxiliar no puede hablarse de verdadera revolu-

ción en el tratamiento y sí, en cambio, de mejoras, a veces sustanciales, como la que es previsible para las resinas intercambiadoras en un futuro próximo. La flotación se agota en sí misma respecto a las posibilidades de innovación, aunque resulta sorprendente la reducción de costes conseguida en Brasil. En cuanto a la oxidación vía cloro o ácido, se referirá siempre a un estrecho campo de minerales refractarios, en los que los otros procedimientos no pueden tener éxito, además de las complicaciones inherentes al uso de reactivos que pueden afectar al entorno natural que rodea a la planta de proceso.

REFERENCIAS

KOMNITASAS C., POOLEY F.D. (1989) "Mineralogical characteristics and Treatment of Refractory Gold Ores. Minerals Engineering. Vol. 2, Nº 4, pp. 449-457, 1989.

MARSDEN J.O., MANSANTI J.G., SASS S.A. (1993) "Innovative methode for precious metals rcovery in North America". Mining Engineering. September 1993, pp. 1144-1151.

MINING MAGAZINE. (1996) "Refractory Gold Technology". Mining Magazine. April 1996, pp. 231-236.

VON MICHAELLS H. (1992) "A system for success" Mining Journal. June 1992, pp. 36-40.

Original recibido: Junio 1998.

Original aceptado: Septiembre 1998.

EL AFINO Y LAS APLICACIONES DEL ORO.

Por T. GARCIA (*)

R E S U M E N

Tanto la comercialización del oro fino como el uso industrial del mismo exigen un alto nivel de pureza que puede lograrse mediante el uso de diferentes procesos de afinado. También reviste gran importancia la determinación del grado de pureza alcanzado y la caracterización de las impurezas que permanecen. Las múltiples aplicaciones industriales del oro tienen su base en las especiales propiedades físicas y químicas del metal y se logran mediante la transformación del oro y de sus aleaciones usando diferentes técnicas y procedimientos.

Palabras clave: Oro, Afino, Análisis, Aplicaciones, Técnicas de aplicación.

A B S T R A C T

The commerce of the pure gold as well as its industrial use demand a high level of purity that can be got by the use of different refining processes. It is also very important to determine the obtained purity level and the characterization of the remaining impurities. The numerous industrial uses of gold are based in its special physico-chemical properties and can be got by transforming gold and gold alloys using differents techniques and processes.

Key words: Gold, Refining, Analysis, Uses, Techniques.

1. PURIFICACION DEL ORO: PROCESOS DE AFINADO.

Dos son los caminos a través de los cuales el oro llega a los centros de afinado. El primero tiene su origen en las minas, se conoce como mineralogía y metalúrgia del oro y pasa por uno o varios procesos de extracción. El segundo empieza en los centros industriales, se denomina reciclado y por él transitan todos los residuos producidos por las diferentes industrias que utilizan el oro, bien como materia prima, bien como herramienta.

Los procesos de extracción conducen a la obtención de un oro que contiene una cierta cantidad de otros metales, principalmente plata y cobre. Para que el oro sirva para uso comercial o como base para posteriores aplicaciones, debe superar al menos el 99,5% de pureza (la ley de comercialización más habitual en el mercado español es de 99,99%) y para ello ha de someterse a un proceso de afinado.

Igualmente, la recuperación de deshechos de fabricación o el reciclado de otros productos precisa de la aplicación de un procedimiento de afinado. En países que, como es el caso de España, carecen de importantes yacimientos de oro, o hace tiempo que se agotaron, estos productos y sus procesos de afinado tienen una importancia cuantitativa igual o superior a los de afinado de bulliones mineros. Especial atención debe prestarse cuando el oro está acompañado por metales del grupo del platino, como es el caso de muchas joyas o de ciertos productos industriales, ya que en este caso interesa no sólo afinar el oro, sino también recuperar estos metales.

En cualquiera de los dos casos son diversos los métodos que pueden aplicarse en el afinado y la elección de uno u otro depende de la naturaleza del material a tratar: componentes metálicos y proporción entre ellos, así como las características de otros materiales constituyentes (plásticos, cerámicas, materia orgánica, etc.). Otros factores determinantes son el plazo de terminación del proceso (plazo de entrega del metal y financiación del mismo) y las implicaciones medioam-

(*) Director Técnico. Sector Químico. Sociedad Española de Metales Preciosos, S.A.

bientales que suponen las diferentes emisiones gaseosas, líquidas y sólidas producidas en las sucesivas etapas. La mayor parte de los procesos no consiguen por sí solos el objetivo, por lo que deben aplicarse varios de ellos de forma consecutiva.

Debe tenerse siempre un especial cuidado en la preparación previa de los productos y en el sistema de desmuestra para su caracterización. La Tabla I recoge los pretratamientos más habituales y algunos ejemplos de su aplicación.

PROCESO	APLICACION	INSTALACION	EJEMPLOS
Calcinación	Materiales de reciclado con materia combustible (papel, telas, serrín, etc).	Hornos de diversos diseños, provistos de sistema de lavado (control de la contaminación y recogida de metal arrastrado en los humos).	Polvos de pulidora. Pastas para pinturas. Barreduras (escobillas).
Molienda	Materiales con el metal encapsulado. Cenizas del calcinado. Escorias de fundir. Crisoles usados.	Molinos de martillo, de bolas, de dientes, etc.	Concentrados de mina. Materiales electrónicos. Residuos de fundición.
Filtración	Líquidos con sólidos en suspensión. Barros	Filtros gravimétricos. Filtros prensa.	Baños para electrolisis gastados. Líquidos cementados.
Clasificación	Separación gravimétrica. Tamizado. separación magnética.	Tamices. Imanes. Soplanges	Materiales molidos, con finos y gruesos metálicos. Desechos de electrónica.
Fundición	Productos metálicos puros o con impurezas que formen escorias.	Hornos de gas o gasóleo. Hornos eléctricos o de inducción.	Recortes de laminado y trefilado. Bulliones.
Desmuestra	Productos homogéneos.	Por cuarteo de polvos. Desmuestradores. Probetas de fundición. Taladrado o serrado de fundidos metálicos.	Polvos de materiales calcinados, molidos y tamizados. Lingotes de fundición.
Análisis	Todos los productos.	Análisis gravimétrico. Métodos instrumentales. (A. A., plasma, etc.)	Todos los productos.

Tabla 1. Procesos de pretratamiento de los productos a afinar.

2.1 Procesos por el fuego.

Los primeros metalúrgicos utilizaron algunos de estos procesos para recuperar y afinar el oro. Esos procesos se basaban principalmente en la fundición bajo condiciones oxidantes para volatilizar los óxidos de los metales comunes o para separarlos en las escorias. Así, la adición del

óxido de plomo (litargirio) conducía a las condiciones necesarias, excepto para la separación de la plata. Para lograr esto último, descubrieron que la fundición con sulfuro de antimonio provocaba la escorificación de la plata, en forma de sulfuro, y la obtención del oro aleado con el antimonio, del que se separaba calentándolo para oxidar y volatilizar el metal acompañante. El exitoso empleo de este proceso lo demuestra el alto nivel de pureza de las joyas de los faraones egipcios o de las monedas de oro de uso en el imperio romano (ley de oro superior al 99 % y apenas trazas de antimonio).

Sin embargo, el método pirometalúrgico de uso en la actualidad es el desarrollado por Miller y que implica el borboteo de una corriente de cloro gaseoso en el interior del metal impuro fundido. Los metales acompañantes forman los correspondientes cloruros, algunos de los cuales, como es el caso del de plata, pasan a la escoria y otros se volatilizan. La pureza del oro puede alcanzar el 99% y los tiempos de recuperación son muy rápidos, pero el método tiene sus limitaciones y sus inconvenientes. Así, no es de aplicación para afinar oro con platinoides, por la elevada pérdida en humos de estos últimos. También conduce a elevadas pérdidas de metal el hecho de que resulte difícil determinar el final del proceso antes de que comience la volatilización del oro y la disolución de parte del mismo en la escoria, de la que resulta costoso separarlo.

Este método es aplicable a materiales con leyes de oro alrededor del 75 % y el resto mayoritariamente plata, como es el caso del reciclado de joyas.

2.2 Procesos por la electricidad.

Conocido como proceso Wohlwill, fue publicado en 1896. La electrolisis se desarrolla utilizando como electrolito una disolución de cloruro de oro y ácido clorhídrico, siendo las concentraciones de 30-80 g/l de oro y 10-30 % en ácido libre. El metal a afinar se funde en ánodos y como cátodos se emplean finas láminas de oro puro que posteriormente se funden con el oro en ellos depositado. También se pueden usar cátodos de titanio, en cuyo caso el oro depositado se rasca y el cátodo se reutiliza. La temperatura de trabajo

es de 70° C y la densidad de corriente utilizada es de 10 A/dm². Para evitar el empobrecimiento del electrolito entre los ánodos y los cátodos puede agitarse el electrolito, bien mecánicamente, bien haciendo borbotear aire en el interior del líquido, pero en cualquier caso debe hacerse con moderación para evitar la movilización del cloruro de plata hacia el ánodo.

El método está limitado a ánodos con contenido en plata inferior al 6%, pues en la superficie del ánodo se va formando una capa de cloruro de plata que provoca un aumento de la resistencia al paso de la corriente. Este efecto puede minimizarse usando una corriente alterna superpuesta a la corriente continua de la electrolisis. Se producen así pequeños desprendimientos de burbujas de gas en el ánodo que rompen la capa de cloruro de plata.

Durante el proceso de la electrolisis, el oro se va depositando en el cátodo, la plata se deposita en forma de cloruro en los barros anódicos, y el cobre y otros metales pasan a la disolución. Si existen platino y paladio, en un principio pasan a la disolución, pero cuando la concentración supera ciertos valores, se depositan junto con el oro. El nivel de Pt y de Pd en el baño puede controlarse precipitándoles por la adición de cloruro amónico y de cianuro de mercurio, respectivamente.

Mediante la electrolisis pueden alcanzarse leyes del 99,99% y reiterando el proceso puede llegarse a niveles superiores de pureza. Por otro lado, tiene varios inconvenientes, como son el hecho de necesitar un proceso previo de acondicionamiento de los productos a afinar, el precisar de un control y mantenimiento de las condiciones del electrolito y el coste de financiación del oro inmovilizado en el mismo.

2.3 Procesos químicos.

Son diversos los métodos que pueden utilizarse para el afinado del oro por vía química. Algunos de ellos contituyen un primer paso en la cadena del afinado, mientras que otros conducen a la obtención de un metal lo suficientemente puro como para ser empleado directamente.

El tratamiento con ácido nítrico caliente permite eliminar el cobre, la plata y otras impurezas de los bulliones, de los barros anódicos y de otros materiales, siempre que el contenido de oro de los mismos no supere el 30-35 %. En caso contrario, la superficie del metal se reviste de una capa de oro y la reacción no progresa. El rascado de esa capa podría realizarse por medios mecánicos, pero en la práctica resulta muy dificultoso por las condiciones existentes en los trabajos: calor, ácido corrosivo y desprendimiento de gases tóxicos. Así mismo, suele darse la presencia de materiales o elementos que no se disuelven en el ácido, como los plásticos, o que si bien se disuelven en un primer momento, pueden volver a precipitar al cambiar las condiciones del medio, como por ejemplo cuando aumenta el valor del pH al lavar con agua para eliminar el resto de ácido y los productos en él disueltos. Por todo ello, este método solamente resulta de utilidad como preafinado.

Con el ácido sulfúrico caliente, los problemas son parecidos y se compensa la mayor facilidad de limpieza de vapores con una mayor limitación en el contenido en oro del material a tratar, puesto que en este caso no puede superar el 25 %. Además, una impureza muy común como es el plomo, no puede eliminarse por este procedimiento

Ya se ha mencionado que para que cualquiera de estos dos caminos resulten eficaces, el contenido de oro no debe superar el 30%, aproximadamente. Si el análisis del material nos diera una riqueza superior, habría de fundirse con la cantidad necesaria de cobre o de plata para rebajar la ley del oro a un máximo del 25 %, operación conocida como encuarte.

Los métodos de afinado anteriores se basan en la disolución de las impurezas, dejando un oro lo más fino posible. Sin embargo, el método químico que conduce a la obtención de oro de mayor pureza se basa en la idea contraria: disolver el oro, restando insolubles la mayor parte de los contaminantes y, posteriormente, precipitar el oro de la solución, dejando en la misma aquellos otros elementos que si se hubiesen disuelto junto con el oro.

El primer paso en este procedimiento es la diso-

lución del oro, mediante la formación del ácido cloroáurico (cloruro de oro en solución acuosa). El reactivo usado para ello es la mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico, en proporciones 3:1, conocida como agua regia. A continuación es necesario eliminar el ácido nítrico sobrante, pues en caso contrario interferiría en los pasos siguientes, provocando consumos excesivos de reactivos y desprendiendo vapores tóxicos de óxidos de nitrógeno. Esto se consigue mediante consecutivas concentraciones y adiciones de ácido clorhídrico. Por último, se filtra la disolución para eliminar el cloruro de plata y los demás insolubles. Una circunstancia que puede dificultar la disolución del oro es la elevada presencia de plata, en niveles superiores al 10%, ya que su cloruro impide la total disolución al formar una capa insoluble sobre el oro, impidiendo la acción del agua regia. Esta dificultad se salva con un pretratamiento con ácido nítrico, y si las proporciones entre las concentraciones de oro y plata fuesen tales que ninguno de los caminos fuese practicable (por ejemplo, contenidos de oro y plata superiores en ambos casos al 30%), deberían rebajarse fundiendo con cobre.

El segundo paso del proceso de afinado consiste en la precipitación del oro de la disolución, para lo cual pueden utilizarse diferentes reactivos.

La Tabla II muestra las ecuaciones de las reacciones de disolución y de las reacciones de reducción de mayor uso.

PROCESO		REACCION
Disolución por el agua regia		$2Au + 2HNO_3 + 6HCl \rightarrow 4H_2O + 2NO \uparrow + 2AuCl_3$ $AuCl_3 + HCl \rightarrow HAuCl_4$
Reactivos de precipitación	Dióxido de azufre	$2HAuCl_4 + 3SO_2 + 6H_2O \rightarrow 2Au + 3H_2SO_4 + 8HCl$
	Sulfato ferroso	$HAuCl_4 + 3FeSO_4 \rightarrow Au + Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3 + HCl$
	Acido oxálico	$2HAuCl_4 + 3H_2C_2O_4 \rightarrow 2Au + 8HCl + 6CO_2$
	Sulfito sódico	$2HAuCl_4 + 3Na_2HSO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Au + 3NaHSO_4 + 3NaCl + 5HCl$

Tabla II. Reacciones de disolución del oro en agua regia y de precipitación por diferentes reactivos.

El afinado mediante la disolución del oro en agua regia conduce a leyes de oro del orden del 99,95%, por lo que se necesitará un posterior afinado electrolítico para alcanzar el 99,99%. A veces esto último puede lograrse lavando conse-

cutivamente el oro precipitado con diferentes reactivos: ácidos nítrico, clohídrico, amoniaco, etc.

También pueden usarse las reacciones de cementación con cobre o cinc en polvo, pero al tratarse en estos casos de productos sólidos, el oro precipitado incluye en su interior restos del polvo reactivo, lo que impurifica el resultado, y es por lo que esta vía queda limitada a disoluciones muy pobres en oro (del orden de las ppm). En lugar de la precipitación química puede realizarse una deposición electrolítica, en cuyo caso el proceso sería más lento y estaría limitado por el número y naturaleza de los productos que acompañan al oro en la disolución.

Si la composición del líquido es muy compleja y existe la posibilidad de coprecipitaciones que lleven a la obtención de un oro bajo de ley, puede llevarse a cabo una extracción líquido-líquido antes de la precipitación. La extracción del ácido cloroáurico en disoluciones acuosas no puede efectuarse con extractantes que forman quelatos de coordinación a través del oxígeno o del nitrógeno, por darse una reducción parcial del oro. Sin embargo, los que forman quelatos coordinando con el azufre, como la ditizona, pueden ser de aplicación.

Otra posible forma de disolver el oro para su purificación es la de utilizar disoluciones de cianuro sódico, potásico o cálcico, pero por sus características, su uso práctico queda limitado a los procesos de extracción minera, o a la recuperación de chatarras de muy bajo contenido en oro, precisando posteriormente de un afinado.

La Figura 1 recoge el diagrama de flujo de los procesos de afinado de los desechos que contienen oro y oro más plata.

2.4 Fundición.

Aunque la fundición del oro no es en sí misma un proceso de afinado, casi siempre es el último paso de todos ellos. Además, un correcto proceso de fundición evitará la contaminación del oro tan costosamente afinado e incluso puede ayudar a eliminar los últimos restos de contaminantes.

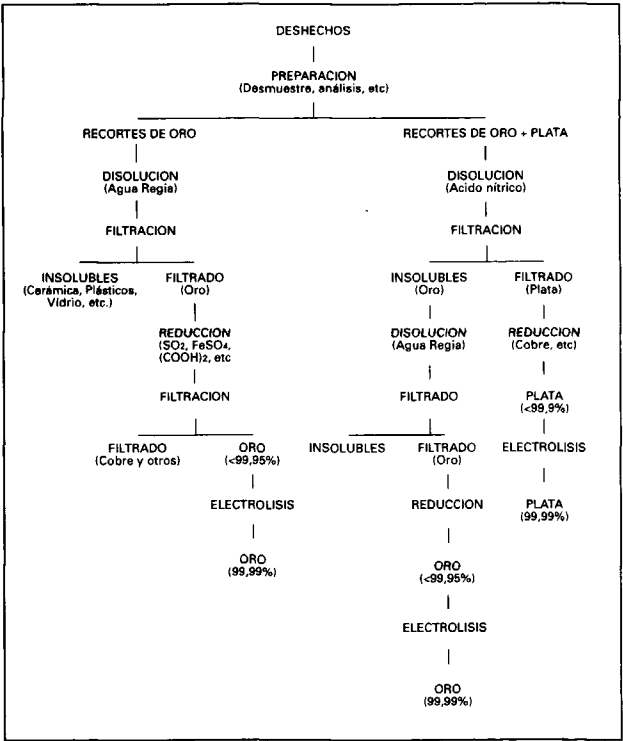


Figura 1. Diagrama de flujo del afinado de desechos que contienen oro y oro más plata.

El oro puro fundido no disuelve oxígeno, lo que facilita la obtención de lingotes de superficie lisa y brillante, pero a veces es conveniente la introducción forzada del gas para que se produzca la formación de los óxidos de algunos metales. Estos óxidos pasarán a la escoria con la consiguiente purificación del oro. El producto utilizado para generar oxígeno en el interior del caldo es el nitrato potásico, que se descompone por efecto del calor y el borax será la sal indicada para formar la escoria que incluya los óxidos. Otros fundentes que se utilizarán según la naturaleza de los metales son el cloruro amónico o el cloruro de cobre.

3. ANALISIS DEL ORO: PROCESOS DE CARACTERIZACION.

Los análisis o ensayos se dividen en dos tipos: cualitativos para identificar los componentes del material y cuantitativos para determinar las proporciones entre los mismos. Aunque la química tradicional y la práctica de los joyeros han desa-

rollado diferentes métodos para la realización de los ensayos cualitativos (ensayos a la llama del soplete, limado y aplicación de una gota de reactivo, ensayos en disolución, formación de la púrpura de Cassius, etc.), en la actualidad y en el ámbito industrial, para la identificación de los componentes de un material, solamente son de aplicación los métodos instrumentales, entre los cuales uno de gran difusión es la fluorescencia de rayos X.

Sin embargo, para el análisis cuantitativo los tradicionales ensayos gravimétricos no sólo son de aplicación, sino que su uso es el obligado para la determinación de la ley en el mercado internacional del oro. Los métodos instrumentales serán insustituibles para la detección y cuantificación de las impurezas.

3.1 Piedra de toque.

Aunque la imprecisión del método y la condición de subjetividad que comporta hacen que no sea un método apto para la aplicación industrial o comercial, la importancia histórica (más de 3.000 años de uso) y su amplia difusión en la joyería, aún en la actualidad, le hacen merecedor de al menos una mención. El ensayo con la piedra de toque consiste básicamente en frotar la pieza de oro contra una piedra, la piedra lidia de los antiguos griegos, que puede ser basalto, pedernal u otra que sea dura, de grano fino, resistente a los ácidos y de color negro uniforme y sin brillo. La limadura del metal en la piedra de toque se somete a la acción de las distintas aguas de toque, que son disoluciones de ácido nítrico con agua en distintas proporciones o bien mezclas de los ácidos nítrico y clohídrico. Por último, se compara el color resultante con diferentes patrones. Un analista experimentado puede alcanzar precisiones de 20 milésimas.

3.2 Copelación (ensayo al fuego).

Es un ensayo por vía seca que consiste en la aplicación a escala de laboratorio del método usado para purificar el oro. A grandes rasgos el proceso consiste en envolver la muestra en plomo y posteriormente fundir el conjunto en presencia de aire en un pequeño crisol poroso llamado copela.

El plomo fundido se oxida transformándose en litargirio, el cual se absorbe en los poros de la copela. Aunque los óxidos de los metales comunes no llegan a fundirse a la temperatura de trabajo, 1.000-1.100°C, sí que se disuelven en el óxido de plomo, al que acompañan al interior de la copela. Como la plata queda aleada junto con el oro, se someterá al botón que han formado los dos metales preciosos a un ataque con ácido nítrico. Para facilitar este paso, en la preparación de la muestra junto con el plomo se añade una cierta cantidad de plata de encuarte, para obtener una aleación atacable.

Para un mejor control de las condiciones del análisis, paralelamente a las muestra problema se realizan ensayos con muestras testigos de composición perfectamente conocida.

El análisis por copelación constituye la norma internacional para la determinación del oro en aleaciones de oro para joyería.

3.3 Métodos gravimétricos.

Estos ensayos por vía húmeda consisten en la puesta en solución de la muestra, seguida de la precipitación selectiva de los componentes de la misma, que se van separando por filtración y una vez secos se pesan para la realización de los cálculos con referencia a la pesada inicial.

Los reactivos de ataque son mezclas en diferentes proporciones de los ácidos nítrico y clorhídrico, pero cercanas a la del agua regia, y la diferencia entre los distintos métodos radica en el reactivo usado para precipitar el oro. Entre estos, los de mayor aplicación son el ácido oxálico, el oxalato amónico, el aldehído fórmico y el agua oxigenada.

Un caso particular lo constituye el análisis de dos sales de oro de amplísimas aplicaciones: el cianuro de oro y el cianuro doble de oro y potasio. Las muestras de estos compuestos se atacan con ácido sulfúrico y después de mantenerlos en ebullición durante algunos minutos, el complejo cianurado se descompone por completo, dejando como residuo una esponja de oro puro.

3.4 Métodos volumétricos.

En este tipo de ensayos se añade un volumen controlado y en exceso de una disolución de un agente reductor (sulfato ferroso u ácido oxálico) en concentración conocida sobre la disolución problema que contiene el oro. Con otra disolución valorada de un agente oxidante (p.e. permanganato potásico) se determina la cantidad sobrante del agente reductor, y, por diferencia sobre la cantidad inicial, se calcula la cantidad de reactivo gastada en reducir el oro. Con unos sencillos cálculos estequiométricos se puede conocer el contenido en oro de la muestra.

3.5 Métodos instrumentales.

Los métodos espectrométricos son de gran aplicación cuando se trata de analizar oros de gran pureza, 99,99% o superiores. En estos casos se analizan las impurezas al nivel de las partes por millón y la suma de las mismas se resta del 100% para obtener la ley del oro.

La absorción atómica, con o sin horno de grafito, y la espectrometría de plasma son algunas de las técnicas más difundidas.

Un método sofisticado, a la vez que muy sensible, para determinar la pureza del oro consiste en obtener la relación entre la conductividad eléctrica del oro a temperatura ambiente, 298°K, y la obtenida a 4,2°K.

4. APLICACIONES DEL ORO: PROCESOS DE UTILIZACION.

Desde que el ser humano apareció sobre la tierra, el oro ha ocupado el punto más alto en la escala de apreciación de los distintos materiales, debido a sus propiedades de color, brillo, inalterabilidad y escasez. Pero lo que en un principio fue un símbolo de riqueza o de poder reservado a unos pocos privilegiados, en la era tecnológica actual se encuentra ampliamente difundido en un sinnúmero de productos que se benefician de sus cualidades físicas y químicas.

Las propiedades más significativas del oro son las siguientes:

- **Propiedades ópticas.** El oro alcanza el máximo de reflectividad en el centro del espectro visible, lo que le confiere su color y brillo característico. Pero incluso en la zona del infrarrojo alcanza valores superiores al 98 %, por lo que se utiliza para reflejar la radiación calórica.

- **Resistencia a la corrosión.** No solamente al medio ambiente, sino a una gran variedad de agentes químicos, incluso a temperaturas elevadas.

- **Facilidad de trabajo.** El oro puro es el más dúctil y maleable de todos los metales y, por lo tanto, el más fácil de trabajar. Tan maleable que con él pueden fabricarse hojas translúcidas de 0,2 micras de espesor y tan dúctil que con un gramo pueden fabricarse 600 m de un hilo de 10 micras de diámetro.

- **Facilidad de aleación con otros metales.** El oro fundido se mezcla con muchos otros metales y las aleaciones así formadas tienen propiedades excepcionales.

- **Facilidad de unión con otros metales.** Al no formar películas de óxido en su superficie, se suelda fácilmente consigo mismo o con otros metales, en algunos casos sin la adición de soldaduras, con la simple aplicación de calor y presión.

- **Conducción del calor.**

- **Conducción de la electricidad.** En este aspecto sólo es superado por la plata y el cobre, pero con la ventaja sobre éstos de no ver disminuida su conductividad por la corrosión. Asimismo, cuando dos superficies de oro entran en contacto entre sí, la resistencia eléctrica en la zona de contacto es muy baja y estable.

- **Propiedades termoeléctricas.**

- **Propiedades electrónicas.**

4.1 Joyería y ornamentación.

El uso del oro en joyería y ornamentación se debe a sus características de color, brillo y resistencia a la corrosión. Sin embargo, su excepcional blandura hace que se rompa o deforme fácilmente, por lo que generalmente es aleado con otros metales que le aportan dureza, además de que abaratan su precio. Por otra parte, al poderse alea con gran cantidad de elementos, se facilita la obtención de una gran variedad de coloracio-

nes y brillos, que aumentan grandemente las posibilidades decorativas del oro, disminuyendo apenas sus otras características. Así con las diferentes aleaciones ternarias oro-plata-cobre pueden lograrse tonos que van del verde al rojo, pasando por el amarillo. Con la introducción de paladio y níquel en la aleación se pueden alcanzar coloraciones blanquecinas. El color azul puede lograrse aleando oro con hierro, si bien en este caso tanto el color como el brillo no alcanzan suficiente calidad para su uso en joyería.

El oro se ha utilizado desde la antigüedad en la decoración de la porcelana, la cerámica o la madera, primero en forma de panes de oro, después como polvo reducido químicamente y desde finales del pasado siglo se usa en forma de oro líquido para obtener depósitos extremadamente finos y brillantes.

Usando oro coloidal se necesita aún menor aporte de oro y jugando con el tamaño de las partículas coloidales y con la adición de óxidos metálicos se logra una gran variedad de colores.

4.2 Industria eléctrica.

En este caso, con la utilización del oro se aprovechan las propiedades de su elevada conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, resistencia al calor y resistencia a la erosión producida por los arcos eléctricos. Se utiliza en forma de contactos eléctricos para apertura y cierre de circuitos eléctricos en forma de relés, enchufes, disyuntores y otros elementos.

Aunque son múltiples los fenómenos involucrados en un contacto eléctrico, las características fundamentales son la resistencia de contacto (caída de tensión producida en el punto de contacto y su vecindad cuando se cierra el contacto eléctrico) y el comportamiento frente a fenómenos de soldadura y erosión. Estos últimos son producidos por diferentes causas: Cuando la corriente pasa por los contactos la temperatura aumenta por el calentamiento Joule y si el metal llega a fundirse, la fuerza mecánica de separación puede ser menor que la de adhesión y el contacto no puede abrirse. Además de la adhesión puede darse la difusión de átomos entre las dos partes del contacto, con los mismos efectos.

También se produce calor por la descarga de ruptura del contacto. Por su parte, la erosión se produce por fenómenos de transferencia (vaporización y dispersión) debidos al calor y al arco eléctrico y que conducen a depresiones y proyecciones de material que hacen que disminuya la superficie de contacto, aumentando la importancia de los dos efectos negativos. La erosión se produce asimismo por el impacto y la fricción durante la apertura y el cierre.

El oro aporta su alta conductividad eléctrica, su no corrosión en el aire o agua y su mayor punto de fusión frente a otros metales conductores. Sin embargo, al ser un metal blando, no soporta bien las deformaciones mecánicas, por lo que se usa aleado con cobre, plata y paladio, que aumentan muy ligeramente su resistividad, o con níquel, que mejora grandemente su dureza a costa de peor comportamiento conductor.

Debido al elevado coste del oro, sólo se aplica en casos muy exigentes (p.e. en repetidores de cableado submarino), dejando para la plata o para la plata dorada la mayor parte de las aplicaciones corrientes.

4.3 Industria electrónica.

Las mismas propiedades de las que se aprovecha la industria eléctrica son las que tienen utilidad en la industria de la electrónica, si bien en este caso los voltajes son tan bajos y los circuitos tan complejos que se requiere una seguridad muy elevada. Por ello, el oro se usa con profusión en las telecomunicaciones, en procesado de datos, sistemas de control de misiles y naves espaciales, equipos médicos, etc.

Desde los primitivos tubos electrónicos a los actuales circuitos integrados de semiconductores o de híbridos, el oro se emplea principalmente en las zonas de contacto, bien en forma de elemento puro, bien aleado o bien en película de recubrimiento. En algunos casos se emplea hilo de oro para unir las distintas partes del circuito, mientras que en otros el oro se ha "impreso" realizando un recubrimiento con pastas de oro sobre cerámica.

En los casos en que se genera mucho calor en un

circuito electrónico, la buena conductividad térmica del oro se utiliza para disipar el calor mediante capas de oro depositadas sobre los elementos calientes.

Otra aplicación del oro es el "suavizado" de los semiconductores usados en computadoras de alta velocidad. Para lograrlo se introducen cantidades controladas de oro en los semiconductores de silicona.

4.4 Industria del vidrio.

Por sus especiales características el oro se aplica en forma de fina película depositada en los vidrios de las ventanas para que refleje gran parte de la radiación infrarroja que incide sobre ellas, mientras que transmite la mayor parte de la radiación visible. De esta forma, reduce el deslumbramiento, refleja el calor solar y disminuye el costo de la refrigeración de los edificios. En invierno, refleja la radiación calorífica del interior de los edificios, ahorrando calefacción.

De la misma forma, películas de oro se usan en aislantes de personas y equipos frente a focos de calor, como hornos, motores, etc.

Asimismo, vidrios con películas de oro tienen aplicación como parabrisas de aviones, trenes y otros vehículos para evitar empañamiento o formación de hielo, lo que se logra haciendo pasar una corriente eléctrica a través de la capa de oro, manteniendo así caliente el vidrio.

Pero también en los procesos de fabricación del vidrio se usan equipos que contienen partes de oro. El vidrio funde a temperatura muy elevada, además, en estado líquido es muy corrosivo. En esas circunstancias, solamente aleaciones del platino con el rodio y el oro pueden dar resultados satisfactorios cuando se fabrican los fondos perforados de las hileras por las que se cuela el vidrio para formar las fibras.

También en la fabricación de las fibras como el rayón, fibras acrílicas y otras, se emplean aleaciones de oro y platino para las hileras que se encuentran por una de sus caras en condiciones ácidas y por el otro condiciones alcalinas.

4.5 Usos médicos.

Al ser el oro un metal resistente a la corrosión, no tóxico fisiológicamente, insípido y altamente dúctil, posibilita aplicaciones dentales y en acupuntura. También se emplean como medicamento diversos compuestos del oro.

El oro puro sólo tiene uso en odontología en forma de finas hojas para el caso concreto del rellenado de muelas. Para puentes, reconstrucciones y otros trabajos, se utilizan desde hace más de 4.000 años diversas aleaciones de oro que se clasifican del I al IV en función de su dureza, según el criterio de la Asociación Dental Americana y, además de oro, plata y cobre suelen llevar otros metales, sobre todo del grupo del platino, que permiten mantener las propiedades durante tiempo indefinido, incluida la resistencia a la decoloración. Actualmente, se utilizan técnicas de deposición al fuego de porcelanas sobre sustratos de metal, que dan a aquellas las características mecánicas de resistencia que no poseen. En estos casos, las aleaciones de oro llevan aportaciones de níquel, cromo y cobalto. También se están desarrollando materiales con propiedades magnéticas en los que aleaciones de oro se combinan con magnetos de cobalto y tierras raras.

Para poder usarse como agujas de acupuntura, el oro debe alearse para aumentar su dureza y tiene aplicación en la técnica denominada hoho o de bajo estímulo. Para la introducción de la aguja se utiliza un tubo guía, para cuya fabricación es aconsejable el uso de plata pura o de oro de 18 K. También se aconsejan las aleaciones de oro para las agujas de estimulación continua, que se insertan en la piel durante varios días.

También tiene larga historia el uso del oro como medicamento, desde su uso con fines mágicos o de amuleto contra los males, pasando por las recetas de Plinio el Viejo para tratar las úlceras de piel o la búsqueda alquimista de la eterna juventud. Sin embargo, el uso "moderno" del oro como curativo se debe a los experimentos de Robert Koch, con sus trabajos de 1890 sobre la acción antibacteriana del cloruro y del cianuro de oro, si bien de eficacia limitada. Pero no fue hasta el período comprendido entre 1925 y 1935 cuando se dio un fuerte impulso al desarrollo de

medicamentos de oro para combatir la tuberculosis o la artritis reumática, que es prácticamente la única aplicación actual.

Otras aplicaciones encontradas a los compuestos de oro son la estimulación del crecimiento, a pesar de que el oro no es un nutriente esencial para el hombre, el tratamiento de algunas miosis, sífilis, asma, el diagnóstico de tumores, etc. Sin embargo, el uso de estos medicamentos puede provocar efectos secundarios, como dermatitis y aculación de oro en los tejidos.

Para el tratamiento de algunos cánceres se introducen en los tejidos afectados pequeños granos o agujas del isótopo de oro radiactivo (^{198}Au), fuente de rayos X y gamma que destruyen las células afectadas. También se implantan partículas de oro pequeñas, pero pesadas por su elevada densidad, en los músculos del ojo para estimular su funcionamiento. En la técnica conocida como escintilografía, oro radiactivo en estado coloidal permite estudiar los órganos en los que es introducido.

4.6 Soldaduras.

Un material para soldadura debe cumplir varias condiciones: punto de fusión menor que los metales a soldar, buena penetración (debe correr), buen contacto con las superficies (debe mojarlas), resistencia a la oxidación, facilidad de trabajo, etc.

Las aleaciones oro-cobre para soldadura fuerte se usan en la industria electrónica en la fabricación de guías de ondas, equipos de radar, etc. Las aleaciones oro-níquel y oro-paladio (a veces más cromo, molibdeno o tántalo) resisten altas temperaturas y, además, mojan el grafito, el carbono y el diamante, por lo que se usan para soldar estos materiales con otros metales. Especiales para las altas temperaturas de los motores a reacción son las soldaduras hechas con aleaciones de oro-níquel-cromo.

También para trabajos a muy bajas temperaturas son apropiadas las soldaduras fuertes a base de aleaciones oro-silicio, oro-germanio y oro-estaño.

4.7 Otros usos industriales.
Materiales funcionales.

La facilidad con que el oro absorbe vapor de mercurio del aire se aprovecha para detectar fugas de mercurio al ambiente porque la absorción del mercurio en una fina lámina de oro hace aumentar la conductividad eléctrica. Estas mediciones son de interés en la protección de áreas de trabajo con mercurio y también en la prospección minera, debido a que la detección de trazas de mercurio cerca del suelo se asocia con ciertos tipos de yacimientos de minerales.

Instrumentos de medida: Las variaciones en la resistencia eléctrica de una aleación oro-cromo con la presión sirve para fabricar manómetros para medir presiones tan extraordinariamente elevadas como 600.000 atmósferas. También en la medida de temperaturas se usan aleaciones de oro; termopares de oro-paladio miden temperaturas de hasta 1.000°C y aleaciones de oro-manganeso sirven para medir temperaturas próximas al cero absoluto (-273°C).

En los vuelos espaciales, algunas condiciones como la falta de gravedad o de atmósfera, obligan a usar polvo de oro como lubricante de ciertos mecanismos.

Aunque el oro tiene propiedades fotosensitivas, normalmente su única aplicación en este campo es como aditivo para mejorar la fotosensitividad de los haluros de plata en los procesos fotográficos.

Las formas tradicionales de trabajar con los materiales, fundición-conformación, no pueden añadir nuevas funciones a los materiales. Sin embargo, la introducción de nuevas tecnologías permite encontrarles nuevas propiedades y nuevos modos de aplicación, que si bien en algún caso aun no tienen aplicaciones inmediatas, sí se les adivina un gran futuro. Entre estos nuevos materiales funcionales se encuentran los siguientes:

Aleaciones con memoria de la forma: la primera vez que se observó este fenómeno fue en una aleación del 47,5 % en átomos Au-Cd. Otra aleación con esta propiedad es Zn-Au-Cu (23-28 % átomos de Au, 45-47 % átomos de Zn) si bien aún

queda resolver un problema esencial, como es la obtención de esta propiedad a temperatura ambiente.

Superconductividad: generalmente asociada a materiales de baja conducción de la electricidad, por lo que en el caso del oro aun no se ha podido alcanzar el estado de superconductividad. Sin embargo, diferentes aleaciones del oro con el galio, el indio, niobio y otros presentan temperaturas críticas entre 0,3 y 11°K y por lo tanto alcanzan el estado de superconductividad. También poseen esta propiedad algunas películas multicapas de oro-cromo y de oro-germanio.

Polímeros conductores de la electricidad: de importante aplicación en prevención de la electricidad estática, escudos contra radiaciones magnéticas, conectores, etc, pueden fabricarse añadiendo material conductor al polímero. Cuando se requiere gran calidad y fiabilidad, el conductor está formado por fibras doradas.

5. TRABAJOS CON ORO:
FORMAS DE UTILIZACION.

Si bien la forma más popular de presentarse el oro son los conocidos lingotes obtenidos por colada del metal fundido en un molde o lingotera de la forma característica, no es esta la forma habitual de uso en la industria, excepto como material de partida. Láminas, hilos, sales, líquidos y otros son los verdaderos estados del oro de los que hacen uso las diferentes industrias que aplican este metal. Existen distintas técnicas de trabajo, en función de la aplicación deseada.

5.1 Laminado y trefilado.

El oro o su aleación fundido en placas o barras se hace pasar entre los rodillos de los laminadores o por las hileras de las trefiladoras hasta obtener los espesores o diámetros requeridos. Como el progresivo trabajo mecánico de deformación hace que el metal gane dureza, son necesarios recocidos intermedios y finales para ablandarlo y para reconstruir la estructura cristalina. Las láminas y los hilos son las formas habituales de uso en joyería, aunque en los últimos años avanza el

uso en forma de bolas (granallas), sobre todo para microfusión.

5.2 Deposición electrolítica. Electroforming.

La electrodeposición se usa para aprovechar las especiales características físicas y químicas del oro, pero supone un importante ahorro económico pues basta con obtener una capa de depósito cuyo espesor varía entre 0,5 y 10 micras. Su uso está ampliamente extendido en la industria, principalmente de la electrónica, y en la ornamentación (bisutería, etc.). En la figura 2 se recogen los tipos de baños para dorado electrolítico más usados.

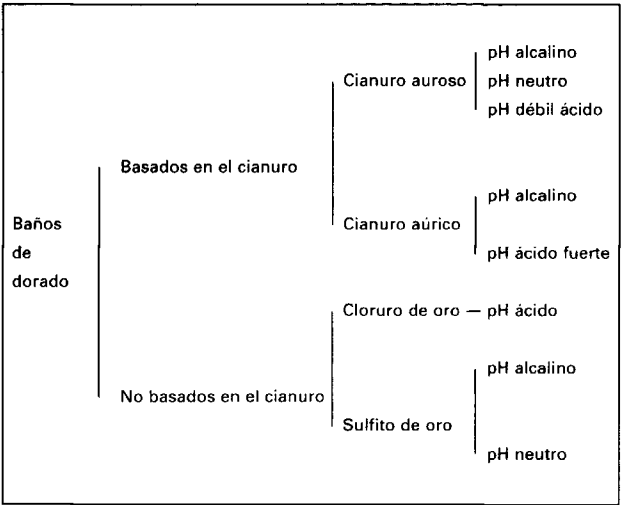


Figura 2. Principales tipos de baños de dorado.

Los constituyentes básicos de un baño son:

- La sal de oro.
- Una sal conductora: cianuro, sales orgánicas e inorgánicas.
- Un agente quelante: EDTA, NTA, etc.
- Abrillantadores inorgánicos: arsénico, bismuto, plomo, selenio, etc.
- Abrillantadores orgánicos: etilendiamina, etc.
- Endurecedores de la superficie.
- Metales para alear: plata, cobre, cadmio, níquel, etc.

Como cátodo se usa el material a dorar y como

ánodo la propia cuba electrolítica, hecha en acero inoxidable. Al paso de la corriente eléctrica el oro se reduce y queda adherido al cátodo.

Un tipo particular de deposición de uso en joyería es la que se conoce como electroforming. En esta, el metal base se elimina por disolución, por lo que queda un objeto hueco, pero de oro puro o de alta ley. Para evitar deformaciones el espesor del depósito llega a las 200 micras.

Otras formas de dorado son el dorado sin electricidad (en el que la reducción del oro sobre el material base es de naturaleza química), el dorado mediante sales fundidas, el dorado con dispersión (en el baño hay finas partículas de alúmina, carburo de silicio, etc., que se codepositan) o la amalgamación (usando mercurio que posteriormente se evapora).

5.3 Pinturas de oro. Oro líquido.

De uso en decoración de cerámica y en la industria electrónica, existen dos tipos básicos de oro líquido: oro líquido brillante y oro quemado. En el primero se añade una solución de ácido cloroáurico a otra previamente formada con azufre y un aceite esencial, como la lavanda. Se forma así un terpeno de oro y azufre (Au-S-R; R=terpeno) y mediante calor se deposita el oro aplicado sobre el soporte. Con el segundo tipo de producto, que se quema con la adición de óxido o borato de bismuto, se logran piezas de mayor calidad al depositar más oro y más duradero.

5.4 Depósito de oro al vacío.

Estas técnicas se usan para depositar capas muy finas de oro, generalmente menores de 0,5 micras. A groso modo se desarrollan en tres etapas:
1. Creación de la fase de vapor del producto a depositar.
2. Transporte de la fase hacia la superficie a recubrir.
3. Crecimiento del recubrimiento.

La vaporización se logra por calentamiento mediante inducción, efecto joule, cañón de elec-

trones, pulverización catódica o por laser. Entre ellas, la pulverización catódica tiene la ventaja de no precisar el calentamiento del material a depositar. El modo de operar en esta técnica es como sigue: entre el oro a depositar, denominado blanco (target), y el substrato a dorar se establece una diferencia de potencial (cátodo/- el target;

ánodo/+ el substrato). Se introduce argón que, excitado por la diferencia de potencial, se transforma en plasma. Los iones positivos del plasma se dirigen hacia el target, al que golpean y arrancan átomos de oro, los cuales se aceleran por la diferencia de potencial con el substrato, y vienen a depositarse sobre este.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

METALURGIA DEL ORO. AMBITOS TECNOLOGICOS EN PREHISTORIA.

Por A. PEREA (*)

R E S U M E N

La tecnología como fenómeno social complejo es la perspectiva que se ha adoptado para explicar las distintas técnicas del trabajo del oro que se utilizaron a lo largo de la prehistoria en la Península, desde los inicios de metalurgia a la llegada de los romanos.

Palabras clave: Tecnología, Oro, Metalurgia, Prehistoria.

A B S T R A C T

Technology as a complex social phenomenon is the theoretical frame adopted in this paper to explain the various goldwork techniques in use during prehistoric times at the Iberian Peninsula, from the beginning of metallurgy till the roman conquest.

Key words: Technology, Goldwork, Metallurgy, Prehistory.

Todos los que nos hemos reunido durante estos días aquí participamos en la misma medida de la fascinación que el oro ha ejercido siempre sobre el ser humano. Estamos perpetuando un rito iniciado por aquellos que comenzaron a desentrañar los secretos de la tierra. Y en esta ceremonia yo empiezo donde la mayoría de vosotros dáis por terminado vuestro recorrido: la materia prima lista para ser transformada. En ese punto el oro deja de pertenecer a la tierra y pasa a formar parte de la historia de las pasiones humanas.

La historia de la tecnología del oro es la historia del poder. Voy a intentar contarla desde la Arqueología.

Para empezar quiero explicar que el análisis tecnológico de la cultura material en Arqueología, de los objetos, de todo aquello que el hombre va dejando tras sí consciente o inconscientemente, ya no se limita a la constatación de las técnicas concretas de fabricación de un objeto, el análisis tecnológico es mucho más complejo porque es el

propio concepto de tecnología el que ha cambiado.

Tecnología no es sólo el conjunto de técnicas que permiten el diseño y la fabricación de un objeto, sino que es un concepto inseparable de su escenario social porque incluye una serie de conocimientos, conductas, secuencias de actividad y habilidades, además de herramientas y modos específicos de coordinación del trabajo que se transmiten de generación en generación (SHIFFER y SKIBO, 1987: 595; PFAFFENBERGER 1992: 497). Desde esta perspectiva, la tecnología es un fenómeno social complejo porque implica conocimiento, transmisión de ese conocimiento y una organización específica que lo materialice.

Frente a la visión evolucionista tradicional sobre la tecnología como actividad unidireccional que va de lo simple a lo complejo, actualmente podemos caracterizarla como algo multidireccional, selectivo y flexible (PINCH y BIJKER, 1994). Si esto es así, la técnica en particular, y los procesos tecnológicos en general, no responden a fenómenos aleatorios o evolutivos sino a la capacidad

(*) Dpto. de Prehistoria. C.E.H., CSIC, Serrano, 13. 28001 Madrid.

de elección y decisión del hombre. De esta forma se accede a la posibilidad de un estudio sobre la sociología de la técnica que abre nuevos caminos a la investigación de las primeras etapas de la tecnología metalúrgica.

El período que vamos a recorrer comienza por el principio, cuando aparecen los primeros objetos fabricados en oro y termina con la llegada de los romanos a la Península. Por ponerlo en fechas, es un período de casi tres milenios antes de nuestra era y lo vamos a recorrer a través del cambio tecnológico. Este largo período lo he dividido en cuatro etapas:

1- Los inicios: la Edad del Bronce. Es una larga etapa que abarca desde mediados del tercer milenio hasta finales del segundo o inicios del primero, en la que los cambios tecnológicos son lentos y casi imperceptibles, pero fundamentales para comprender lo que ocurre después.

2- El despegue tecnológico: el Bronce Final y sus ámbitos tecnológicos. Al contrario que el período anterior, esta es una cortísima pero concentrada fase de desarrollo tecnológico a caballo entre el segundo y primer milenio. Se inician una serie de líneas de desarrollo divergentes que van a consolidarse o desaparecer en función de los acontecimientos políticos de cada zona geográfica.

3- El ámbito tecnológico mediterráneo y sus interacciones. La llegada de colonos fenicios a las costas del sur peninsular hacia el siglo VIII a.C. y el comercio con distintos centros de producción mediterráneos da un vuelco al desarrollo tecnológico previo que veníamos viendo en la Península.

4- El ámbito tecnológico castreño. Mientras las relaciones políticas y comerciales en el Mediterráneo van tejiendo su historia, en el noroeste peninsular se produce un peculiar fenómeno donde se mezclan rasgos de conservadurismo e innovación tecnológica en una síntesis que siempre ha sorprendido a los investigadores.

1. LOS INICIOS: LA EDAD DEL BRONCE

Si tuviéramos que definir esta etapa con una sola técnica habría que hablar del martillado, del

batido de láminas para la fabricación de pequeños adornos de recubrimiento de materiales orgánicos como telas, cueros o maderas.

En los primeros momentos, durante el Calcolítico o Edad del Cobre, el tipo de objetos es evidentemente sencillo (PEREA, 1991a). Se trata de cuentas de perfil recto, fabricadas a partir de una lámina que se enrolla en tubo, o pequeñas láminas rectangulares como las aparecidas en el sepulcro de corredor de Loma de Belmonte (Almería). Podemos observar que estas láminas están cuidadosamente trabajadas mediante martillado indirecto, esto es, interponiendo entre el martillo y el oro un material flexible, como tela o cuero muy fino, para distribuir la fuerza del golpe y proteger la superficie metálica. También se puede observar el trazo de una línea incisa que marca la línea de corte de los bordes.



Foto 1

Pero la simplicidad no está reñida con la belleza y el empleo de técnicas más sofisticadas como el repujado. Los fragmentos laminares encontrados en el dólmen de Matarrubilla (Sevilla) (Fig.1) presentan una decoración geométrica muy efectista, y sobre todo una superficie de acabado brillante que indica el dominio, primero de la técnica del martillado indirecto o batido de láminas que pueden llegar a tener un grosor de 0.002 cm.; y segundo, el dominio de la técnica de recocido para devolver la maleabilidad al metal endurecido por el trabajo.

Otro ejemplo es el revestimiento esférico procedente de los Algarbes (Cádiz). Todos ellos proceden de ajuares de enterramientos colectivos en cuevas naturales o artificiales.

El gran cambio, si no de importancia tecnológica, sí de trascendencia social se produce cuando estos ajuares funerarios con oro pasan de un contexto comunitario y colectivo a otro individualizado y personal. Hacia mediados del segundo milenio los enterramientos son estructuralmente individuales, en cistas de piedra, en tinajas de cerámica o en covachas labradas en la roca. Lo que diferencia a estos enterramientos entre sí es que unos tienen ajuar funerario y otros no, y dentro de los primeros, unos tienen oro y otros no. Esto quiere decir que ya no estamos ante una sociedad cohesionada exclusivamente por lazos de parentesco, que se entierra en un marco idealmente igualitario, sino ante una sociedad plenamente jerarquizada con diferencias muy marcadas de estatus, incluso de riqueza.

Desde el punto de vista de la organización artesanal el cambio se manifiesta en una producción normalizada, que responde a un número determinado de tipos muy concretos que se repiten y consolidan en un sistema de símbolos definitivos del máximo rango social. Por ejemplo, las diademas funerarias constituyen uno de los mejores ejemplos de este sistema simbólico que ahora se va diferenciando cultural y geográficamente.

La diadema de la Cueva de los Murciélagos (Granada) (Fig. 2) es una pieza excepcional. Su tamaño de 53 cm. de longitud y su peso de 45 gr. la convierten en un objeto extremadamente deli-

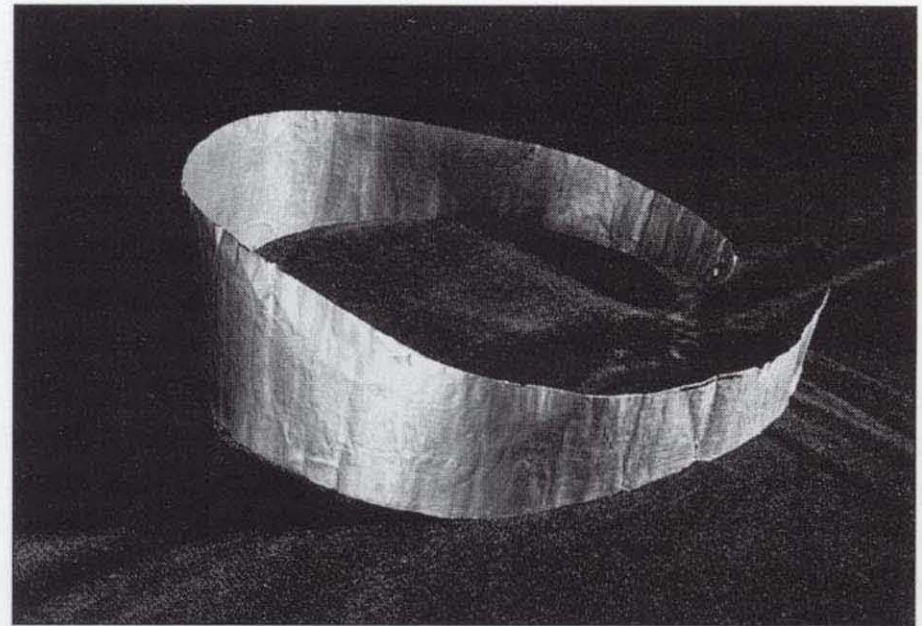


Foto 2

cado y de difícil manejo; de manera que suponemos iría sobre un soporte de cuero o que su uso se restringía al momento del entierro. Las perforaciones de los extremos, con rebabas dejadas por el punzón, nos indican las limitaciones tecnológicas inherentes al utillaje disponible en la época.

El ajuar funerario de Montilla (Córdoba) se componía de otra de estas diademas y dos brazaletes, o dos diademas en miniatura ya que no tenemos por segura su funcionalidad. Las características tecnológicas son las mismas que en el ejemplar de los Murciélagos.

Dentro del ámbito de la cultura argárica, en la zona del Sureste, aparecen las diademas con apéndice discoidal. El ejemplar procedente de Caravaca (Murcia) (Fig. 3) es el único que conocemos en oro, siendo relativamente más frecuentes los ejemplares en plata. Tenemos que tener en cuenta que sólo el 50% de los enterramientos argáricos presentan ajuar funerario, y de esa mitad el 25% incluye algún objeto metálico. Pues bien, los ajuares con oro suponen casos excepcionales dentro de ese porcentaje que incluye metal y suponemos pertenecieron a una clase dominante o dirigente.

En esta diadema aparece una decoración puntillada, realizada por el reverso de manera descuidada pero de gran efecto visual. Apparentemente la diadema, de 52 cm. de diámetro, se fabricó en una sola pieza sin unión visible.



Foto 3

Otra de las piezas características de la Edad del Bronce son las espirales de hilo. Presentan secciones diversas, circulares, ovaladas o poligonales. Los hallazgos de este tipo, procedentes de necrópolis del Sureste, suelen ser espirales aisladas, pero en toda la fachada atlántica es característico encontrarlas enganchadas unas en otras formando cadenas. Uno de los hallazgos más expresivos es el brazalete macizo de Menjíbar (Jaén) (Fig. 4) del que penden una serie de espirales. El brazalete es una de las primeras piezas vaciadas en molde, técnica empleada para la fabricación de armas en bronce, aunque se retocó bastante con el martillo para conseguir su forma final.

2. EL DESPEGUE TECNOLÓGICO: EL BRONCE FINAL Y SUS ÁMBITOS TECNOLÓGICOS

A partir de los inicios del primer milenio a.C. la uniformidad que caracterizaba la metalurgia del oro en la Península empieza a resquebrajarse. El Bronce Final se configura como una etapa de transformaciones que abre un nuevo ciclo económico y social. La tecnología refleja fielmente esos cambios.

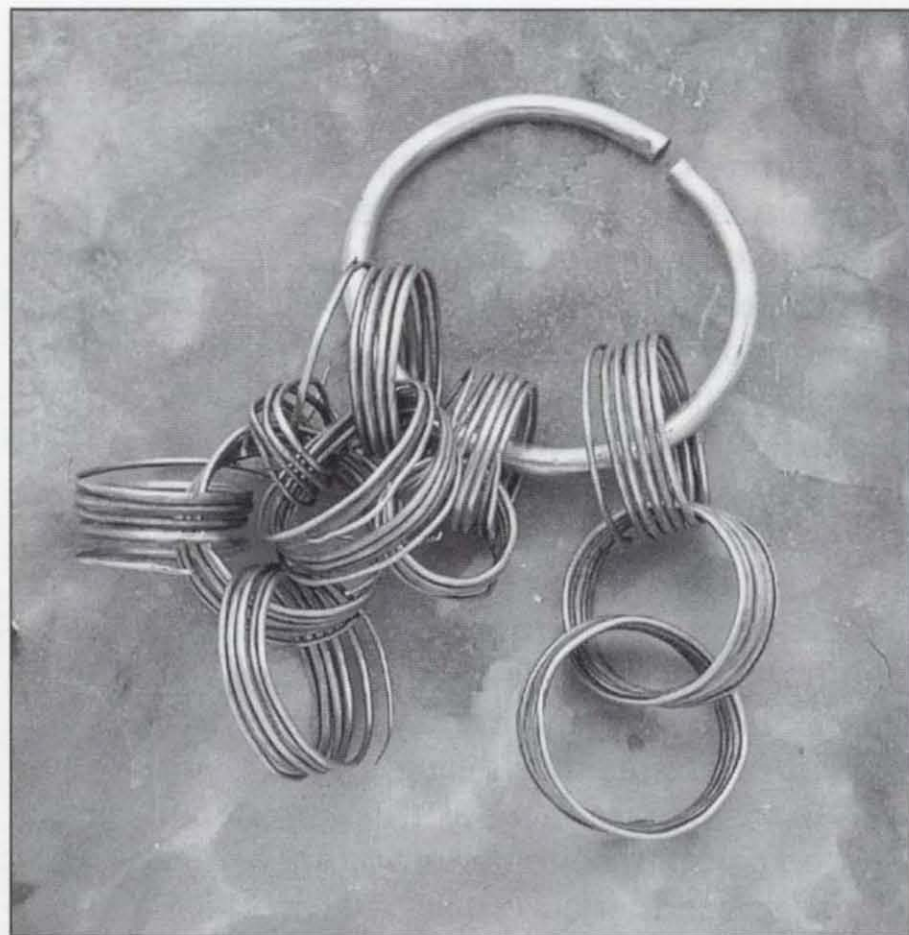


Foto 4

En primer lugar, el oro desaparece de las tumbas. El hallazgo-tipo de esta etapa van a ser los depósitos o escondrijos. Un depósito se puede definir como la acción intencionada de retirar de la circulación materiales u objetos valiosos o de prestigio con una finalidad económica, religiosa, ritual, funeraria o social, cuando no se mezclan varias motivaciones a la vez. Son hallazgos generalmente aislados, en zonas de difícil acceso o de características naturales peculiares, como pasos de montaña, fuentes, ríos; que contienen metal, bronce u oro, incluyendo material de desecho o semielaborado, como armas de bronce troceadas o dobladas, lingotes de diversas formas; pero también objetos en buen estado. El depósito de oro más espectacular de toda la Península se encontró en Caldas de Reyes (Pontevedra) y pesaba 50 kg de oro, de los que actualmente se conservan 20 kg (RUIZ GALVEZ, 1978; ARM-BRUSTER, 1996), entre torques y brazaletes, además de dos tazas y un peine. Otro es el encontrado en Villena (Alicante) que contenía 9.112 gr de objetos en oro y del que hablaremos enseguida.

¿Depósitos votivos o depósitos utilitarios, ofrendas a los dioses o codicia de los hombres, regalo político o rito funerario? es algo complejo de

establecer, puesto que no existe una pauta común, sino que cada caso puede ser diferente.

Desde el punto de vista tecnológico el cambio también es considerable. Ahora va a empezar el dominio de la técnica del moldeado y el de las piezas macizas, sólidas y de gran peso como torques y brazaletes que pueden llegar a pesar 1 kg de oro. Pero lo verdaderamente significativo es que, dentro de estas características generales, se pueden distinguir dos ámbitos tecnológicos que probablemente respondan a dos escenarios sociales diferenciados aunque sincrónicos. Los describiré a través de sus tipos emblemáticos: el torque anular del ámbito Sagrajas/Berzocana y el brazalete con decoración de molduras y púas del ámbito Villena/Estremoz (PEREA, 1995).

El ámbito S/B viene denominado por sus dos hallazgos más representativos, el depósito de Sagrajas (Badajoz) que se componía de un torque anular doble (Fig. 5), cuatro brazaletes abiertos, un lingote en forma de brazalete en espiral y unos fragmentos de hilo; y el depósito de Berzocana (Cáceres) que incluía dos torques anulares y una pátera de bronce (PEREA, 1991b).

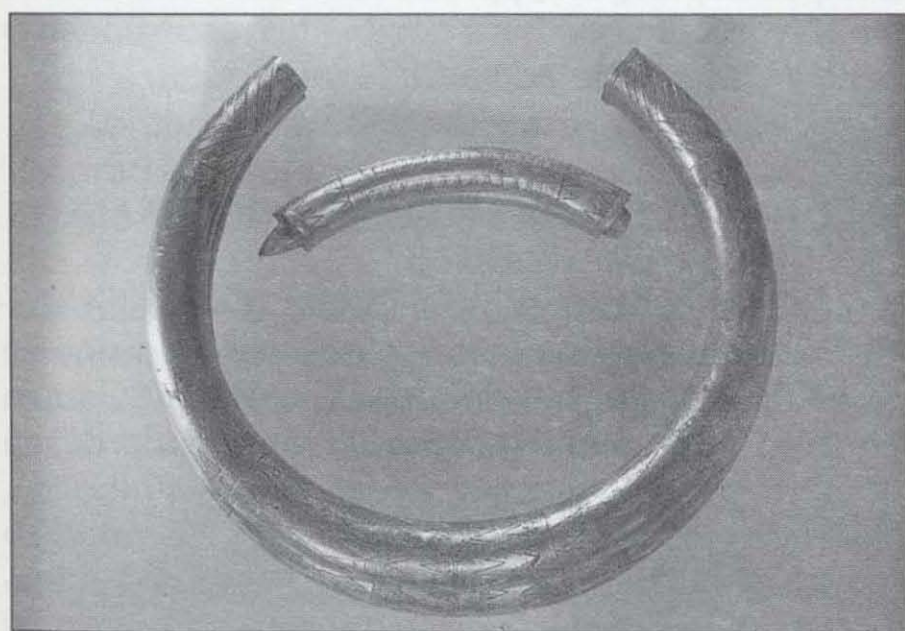


Foto 5

Los torques anulares simples están fabricados mediante una combinación de dos técnicas, vaciado-martillado. Se procede a un vaciado inicial en molde y adquieren su forma definitiva mediante martillado. Esta última técnica se hace patente sobre todo en los extremos, generalmente engrosados donde se observan las huellas

del martillo. Posteriormente toda la superficie exterior se cubre con una decoración incisa con motivos geométricos; las incisiones están hechas con una herramienta muy cortante que llega a levantar el metal, como se puede observar mediante imágenes obtenidas con microscopio electrónico de barrido.

El torque doble de Sagrajas está formado por la unión de dos torques simples, de diámetros decrecientes y fabricados separadamente con tecnología vaciado-martillado. La unión se realizó vertiendo metal fundido en la zona de contacto de ambos aros, previamente calentados para evitar tensiones entre dos materiales a distinta temperatura. De todas maneras, la unión no llegó a realizarse en algunas zonas debido a la contracción del metal al solidificarse. También es visible en la pieza de cierre una superficie ondulada en la línea de unión, por la solidificación irregular del metal en una pieza de tan grandes dimensiones, con un peso total de 2 kg.

Este tipo de unión podría definirse como una soldadura incipiente, aunque no es tal, puesto que la soldadura se basa en el distinto punto de fusión de dos aleaciones, mientras que aquí la naturaleza de las partes a unir y la del material de unión es la misma.

El ámbito V/E está igualmente definido por dos hallazgos significativos. El brazalete de Estremoz (Evora, Portugal) es un hallazgo sin contexto aparente, como muchos de los que se repiten con este tipo de brazalete a lo largo de la fachada atlántica; pesa 978 gr y es la pieza más perfecta de su género. Por el contrario, el depósito de Villena contenía 28 brazaletes de este mismo tipo, aunque de muy diferentes tamaños y calidades de fabricación. El depósito se completaba con 11 cuencos, 2 frascos de oro y 3 en plata, y diversos restos de revestimientos de armas, incluso alguna pieza en hierro. Pero lo que aquí nos interesa son únicamente los brazaletes.

Los brazaletes tipo V/E (Fig. 6) presetan las siguientes características:

- Son piezas con perfecta simetría de revolución.
- Son objetos perfectamente cilíndricos en su origen.

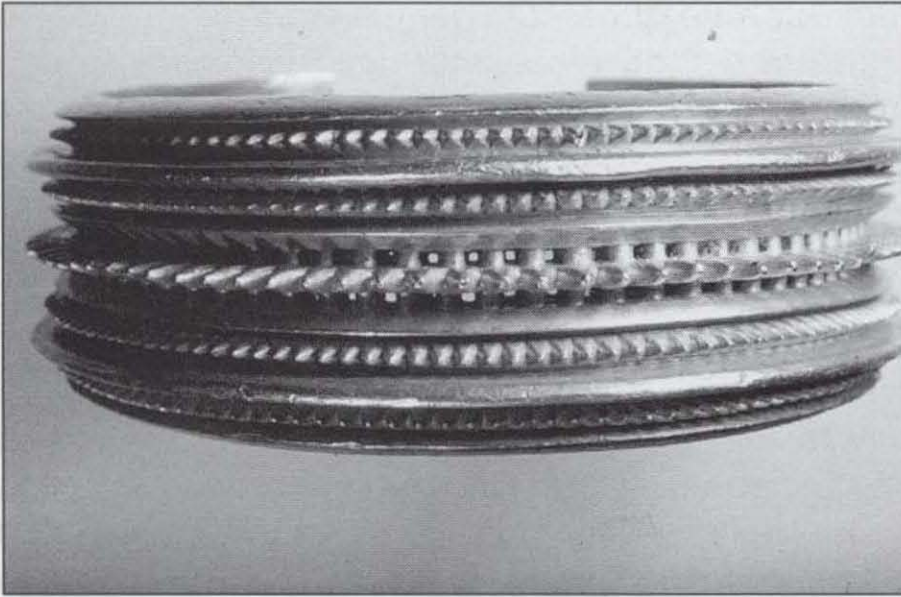


Foto 6

- Presentan todos o algunos de los siguientes elementos decorativos: molduras, púas piramidales o cónicas y calados.

Las dos primeras características implican necesariamente el empleo de un instrumento rotativo en alguna fase de su fabricación, y esa fase sólo puede ser la de preparación de un molde de cera para un vaciado a la cera perdida. Y ese torno sólo podía ser un torno de eje horizontal, de rotación alterna, con un mecanismo de cuerda o arco para ponerlo en movimiento.

Gracias a la arqueología experimental (ARM-BRUSTER y PEREA, 1994) se ha podido reconstruir toda la fase de preparación del molde o núcleo de cera sobre un torno de eje horizontal, empleando además cuchillas previamente calentadas y otros instrumentos para el modelado de los distintos elementos.

Por otro lado, la observación con lupa binocular de las huellas de trabajado sobre los propios brazaletes ha permitido corroborar todos y cada uno de los pasos efectuados. Así por ejemplo, se pueden observar las marcas de las cuchillas que cortaron la cera; la huella circular en la base de las púas que dejó un instrumento hueco cuya finalidad era convertir las púas piramidales en cónicas (Fig. 7); incluso distintos defectos de vaciado, la operación más delicada, como grietas y fisuras que se repararon mediante un vaciado adicional realizado por el interior del brazalete. En la fase de acabado se utilizó también el torno de eje horizontal, que facilita enormemente el trabajo de



Foto 7

pulido con algún tipo de textil o cuero, como se puede observar por las huellas del pulimento en la superficie que presentan una homogeneidad difícil de conseguir por un procedimiento manual.

La tecnología de la cera perdida en la prehistoria peninsular va a tener una vida azarosa, pervivirá poco tiempo a la llegada de los colonos fenicios a las costas del Sur, pero mantendrá una reserva en el Noroeste que hará posible un resurgimiento espectacular. Más adelante lo veremos.

3. EL AMBITO TECNOLOGICO MEDITERRANEO Y SUS INTERACCIONES

Como decíamos los colonos fenicios, a inicios de la Edad del Hierro, hacia el siglo VIII a.C., traen consigo un nuevo concepto de joya, tanto desde el punto de vista técnico como social o simbólico, y lo que es más importante, un nuevo concepto de valor. Las características de este ámbito mediterráneo podrían resumirse en los siguientes puntos:

- La pieza se estructura siempre sobre una base laminar, hueca o rellena de alguna sustancia, como arena o resina, para darle consistencia.
- Aparece la joya compleja, compuesta por varias piezas unidas de muy distinta manera: encajes, pestañas, charnelas, clavos, ganchos etc. permiten, además, la fabricación de piezas articuladas.
- Se introduce el color en forma de piedras, pastas vítreas y esmaltes.

- Surge una riquísima iconografía de origen oriental con significados simbólicos, religiosos, mágicos o apotropaicos.
- Aunque no desaparecen los depósitos, que pasan ahora de varios kilos de contenido a varios gramos, el oro vuelve a las tumbas como ajuar funerario.

La síntesis de esta enumeración es la perfecta armonía de tres técnicas fundamentales: soldadura, filigrana y granulado.

Podríamos definir la soldadura como el sistema de unión mediante el empleo **controlado** de las distintas temperaturas de fusión de los metales y sus aleaciones. Habíamos visto, en el ámbito tecnológico S/B, un sistema de unión peculiar, que consistía en verter metal fundido entre las partes a unir; esta unión no requería ningún control especial de la temperatura de fusión, y por tanto no la debemos calificar de soldadura.

La soldadura permitió el surgimiento de dos técnicas, la filigrana y el granulado. La primera consiste en la ornamentación de la superficie con finos hilos de oro soldados a la base, o lateralmente entre sí; mientras que el granulado parte del mismo principio para ornamentar con diminutas esferas de oro. Generalmente ambas técnicas se combinan (Fig. 8) para formar patrones decorativos característicos de cada taller, zona geográfica o cronología (PEREA, 1990).

Los hilos de la filigrana se fabricaban en hueco, enrollando una tira metálica sobre sí misma, de manera que a lo largo de toda su superficie apa-

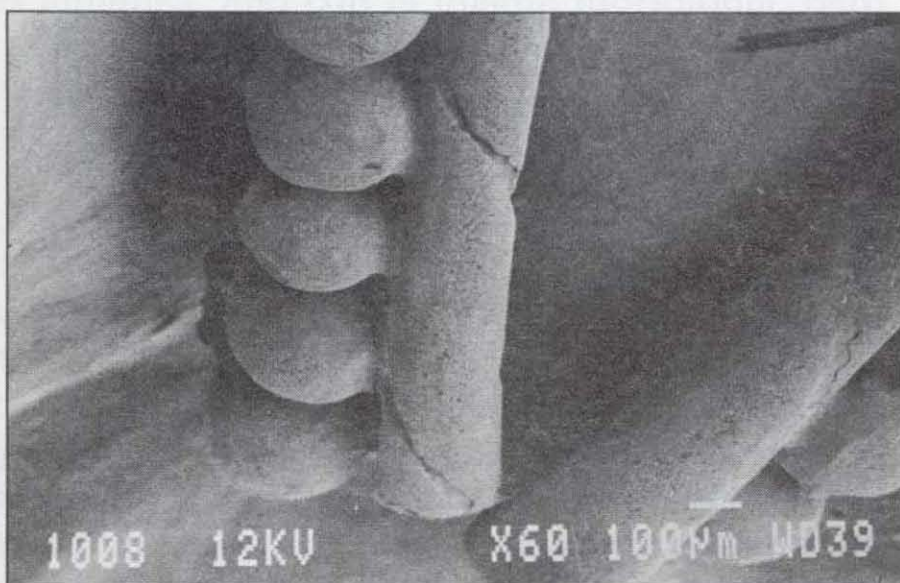


Foto 8

rece una huella helicoidal. Este sistema permite conseguir grosores mucho más finos que con el método tradicional de martillado. Una vez conseguido, el hilo se podía trabajar para matizar su superficie; por ejemplo rodándolo sobre una superficie horizontal con la ayuda de una herramienta ligeramente cortante, se consigue un hilo moldurado que imita una sarta de gránulos; igualmente, si nosotros torsionamos sobre sí mismo el hilo, la deformación plástica antes de la ruptura produce una reducción de la sección con efectos muy vistosos; en fin, las posibilidades y variables son muy grandes (Fig. 9), y poco a poco se van documentando mediante una cuidadosa observación de las piezas con lupa binocular y microscopio electrónico de barrido.

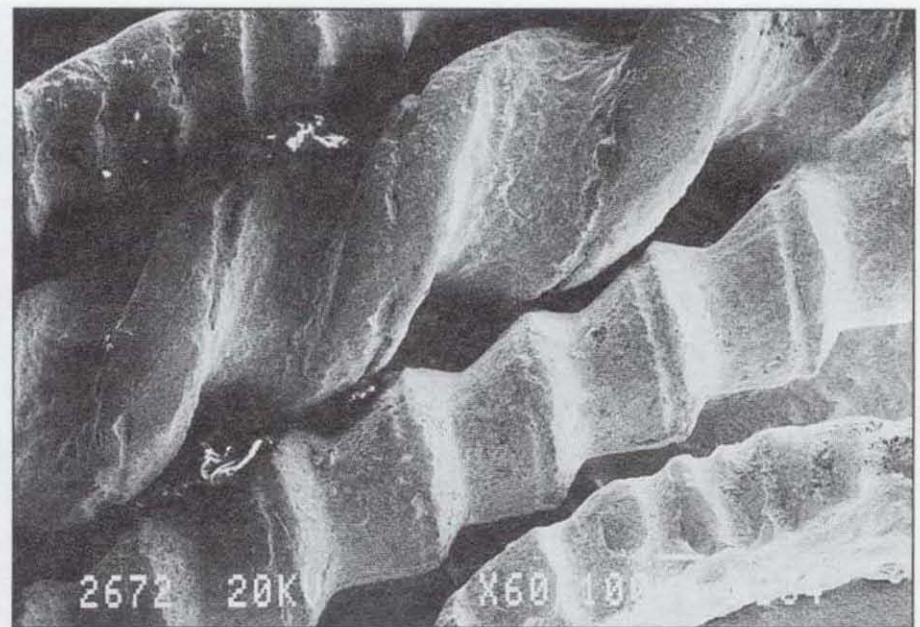


Foto 9

¿Pero qué ocurre cuando dos ámbitos tecnológicos entran en contacto? Los fenómenos de interacción tecnológica son fascinantes y muy complejos; necesitaríamos varias horas de charla para poder empezar a esbozarlos, de manera que me voy a limitar a poner un solo ejemplo, pero muy significativo.

El escenario: la cuenca del Guadalquivir; la situación: la entrada en contacto del ámbito tecnológico V/E con el ámbito mediterráneo; el contexto histórico, por lo que sabemos a través de la arqueología, es una situación de probable convivencia entre la población indígena y la población de origen fenicio; el protagonista es el depósito de El Carambolo (Sevilla).

El Carambolo está compuesto por 16 placas, 2

pectorales y 2 brazaletes que forman un conjunto morfológico y técnico aparentemente homogéneo. Además existe un collar, sin relación morfo-técnica con el resto del conjunto, probablemente un añadido posterior al grueso del depósito (PEREA y ARMBRUSTER, 1997; Ibid., 1998).

Placas, pectorales y brazaletes presentan unos elementos técnico-ornamentales aparentemente exactos y con todas las características del ámbito tecnológico mediterráneo: piezas de estructura hueca con relleno de resina, trabajo de filigrana, soldadura de elementos múltiples e iconografía oriental con un motivo de roseta. Sin embargo, existe un elemento perteneciente a la orfebrería tipo V/E del Bronce Final, las tiras de púas que se intercalan entre las tiras de rosetas. Son púas macizas, vaciadas a la cera perdida, tal y como habíamos visto en los brazaletes del depósito de Villena (Fig. 10). Hasta aquí, nada que pueda sorprender en exceso: dos talleres o artesanos de distinto origen que entran en contacto para fabricar unos objetos muy especiales.

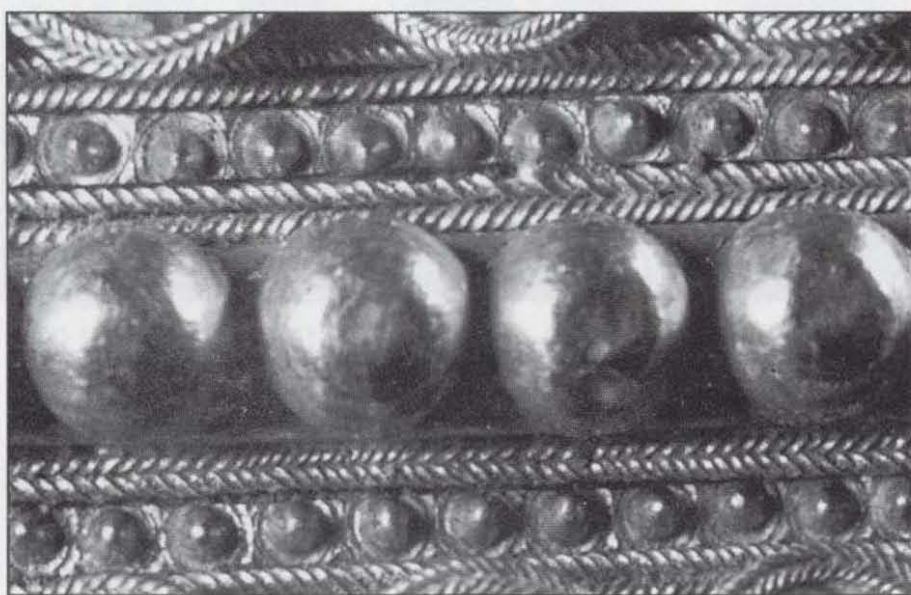


Foto 10

Pero un estudio más detallado, con lupa binocular, de todas y cada una de las piezas ha deparado algunas sorpresas. Las tiras de púas de los dos brazaletes no son macizas, ni están vaciadas a la cera perdida, como las del resto de las piezas, sino que son huecas y se fabricaron por estampado de una tira laminar. En un examen superficial es imposible distinguir entre las púas fabricadas con una u otra técnica, y sólo la circunstancia de que estos elementos huecos presenten ocasionalmente pequeños orificios y

deformaciones hizo posible su identificación (Fig. 11).

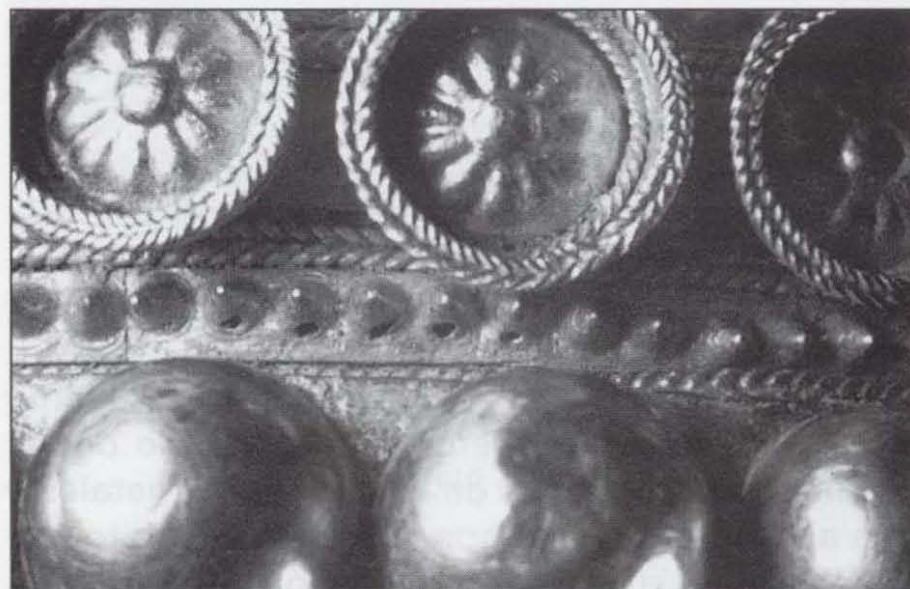


Foto 11

Esta diferenciación técnica tiene un significado claro: el elemento morfológico "púa" de los brazaletes, y el elemento morfológico "púa" de placas y pectorales no pertenecen al mismo entorno tecnológico, fueron fabricados por artesanos o talleres diferentes. Estamos ante un caso claro de transmisión tipológica sin transmisión tecnológica. En otras palabras, el artesano que fabricó los brazaletes conocía este elemento morfológico pero desconocía su técnica de fabricación, de manera que se limitó a copiarlo exactamente empleando un método que procedía de su propio entorno tecnológico, como no podía ser de otra forma.

El Carambolo nos está indicando los primeros momentos de un intercambio selectivo de conocimiento técnico, probablemente porque determinadas prácticas estaban sometidas a control por el poder. Como en la actualidad, era el poder establecido el que permitía o impedía el acceso al conocimiento tecnológico, lo que hoy llamaríamos acceso al *know-how*.

4. EL AMBITO TECNOLÓGICO CASTREÑO

Para los que nos dedicamos al estudio del oro desde una u otra perspectiva hablar del oro castreño es entrar en un ámbito entrañable y contradictorio, conocido y lejano a la vez.

Este carácter casi mítico de la orfebrería del Noroeste ha condicionado negativamente su estudio científico que está empezando a salir de un estrecho callejón, pero con salida. La primera pregunta que deberíamos hacernos es la siguiente: ¿qué es la orfebrería castreña?

Podría definirse como el resultado de la interacción de tres factores:

- Unos recursos naturales con abundancia de cobre, estaño y sobre todo, oro.
- Un entorno geográfico y cultural que formaba parte de la vía atlántica de intercambios de objetos de metal, tecnología y probablemente, ideologías que estuvo activa durante toda la Edad del Bronce, especialmente durante el Bronce Final.
- Una sociedad y una economía que consiguieron controlar cada vez mejor sus propios recursos.

Desde el punto de vista tecnológico, la orfebrería castreña planta sus raíces en el ámbito V/E del Bronce Final, y se riega con los contactos, directos o indirectos, del ámbito mediterráneo del Sur a principios de la Edad del Hierro (PEREA y SANCHEZ-PALENCIA, 1995).

El oro castreño presenta una peculiar síntesis tecnológica entre el vaciado a la cera perdida y la terna mediterránea, soldadura-filigrana-granulado. Veamos algunos ejemplos.

Los torques de extremos en doble escocia son característicos de la zona norte galaico-astur. Están formados por un cuerpo o varilla rematada con dos terminales, más o menos voluminosos, en una caprichosa forma con simetría de revolución. La variabilidad tecnológica de estos objetos es inmensa, aún con la misma morfología, pero podemos examinar con más detalle los restos de varios ejemplares de este tipo procedentes del depósito de Cangas de Onís (Asturias) (Fig. 12).

Los extremos, huecos, se fabricaron a la cera perdida, a partir de un núcleo de cera trabajado sobre torno. Los discos que cierran estos extremos presentan una decoración que a simple vista parece un más que correcto trabajo de filigrana y granulado; pero un examen con lupa binocular o microscopio electrónico revela que se trata igualmente de una placa vaciada a la cera perdida con el motivo que imita las técnicas mediterráneas (Fig. 13). Además, uno de los fragmentos de la



Foto 12



Foto 13

varilla del cuerpo presenta una decoración aparentando filigrana pero que en realidad es una placa fundida y posteriormente soldada al mismo.

Contra lo que pudiera parecer por el depósito de Cangas de Onís, la orfebrería castreña no se limita a imitar, con su propia tecnología, una serie de técnicas foráneas como la filigrana y el granulado, sino que las domina y adapta a su entorno estético e iconográfico. El caso es que una de las características de este ámbito del Noroeste es no sólo la variedad técnica, sino una enorme variabilidad de los procesos técnicos. La explicación de este fenómeno podría estar en una gran dispersión de talleres o artesanos, pero en realidad no lo sabemos con certeza. En este sentido es muy significativo el caso, nada infre-

cuenta, de uno de los torques encontrados en La Madorra (Cospeito, Lugo). Los terminales son macizos, lisos, sin ningún tipo de decoración y están soldados al cuerpo; pero mientras que en el terminal derecho se empleó una aleación de oro rica en cobre para la soldadura, en el izquierdo se utilizó una aleación de alto contenido en plata. La distinta coloración de ambas es perfectamente visible con lupa binocular, sin necesidad de recurrir a un análisis espectrográfico de la aleación para confirmarlo.

Todo esto favoreció probablemente numerosas innovaciones técnicas, morfológicas e iconográficas. El estampado de láminas es una de las técnicas de ornamentación que más se desarrolla en el ámbito castreño; y lo hace sobre un tipo de objeto igualmente característico, la diadema o cinturón rectangular con anillas en los extremos. El depósito de Ribadeo/Vegadeo (Asturias) incluía una de estas piezas con decoración geométrica muy característica del repertorio ornamental castreño en cualquier tipo de soporte, y para la que se emplearon al menos diez punzones o estampillas diferentes; las anillas de los extremos están fabricadas en una delicadísima filigrana al aire (Fig. 14).



Foto 14

Para terminar quiero mostrar una de las piezas más representativas de la ideología castreña. Se trata de la diadema/cinturón de Moñes (Piloña, Asturias) con decoración estampada y figurada. Lo excepcional es que por primera vez en la orfebrería peninsular aparece una historia narrada, con una escenografía, un guión y unos persona-

jes que se repiten a lo largo de la lámina de oro. Hay un jinete desnudo con los brazos elevados, portando puñal y torques en cada mano, con penacho o tocado de cuernas (Fig. 15); hay un personaje de a pie portando dos lanzas y puñal al cinto; y un último personaje que lleva un caldero en cada mano y un tocado en forma de cabeza de pájaro (Fig. 16). El escenario es un medio acuático, un río o zona pantanosa donde se mueven aves zancudas y peces (MARCO SIMON, 1994; PEREA, 1995).



Foto 15



Foto 16

¿Estamos ante una escena cotidiana de guerra? Diversos elementos nos previenen contra esta interpretación: el jinete desnudo y el caballo ricamente enjaezado; los penachos y tocados que representan a distintos animales, los calderos de bronce que pertenecen al ámbito de lo ritual y no

de lo cotidiano, lo mismo que al agua y la idea de repetición. La escena concreta que nos narra esta joya es el rito de tránsito hacia el más allá de un guerrero muerto, probablemente un personaje mítico, un antepasado con el que el grupo social se identifica. El guerrero muerto va desnudo porque así se debe presentar el ser humano ante la divinidad, y el medio acuático es el que facilita y permite ese tránsito. Pero el personaje no ha perdido con la muerte sus símbolos de identidad, aquellos que dan legitimidad a su poder, y los exhibe levantándolos por encima de su cabeza: la fuerza del puñal y la riqueza del oro.

Los estudios y análisis que han permitido esta síntesis han sido financiados por la DGI CYT, dentro del programa de investigación: "Base de datos, microscópica y microanalítica para el estudio de los ámbitos tecnológicos en Prehistoria. Cambio y transmisión en metalurgia del oro", cuya investigadora principal es A. Perea.

REFERENCIAS

- ARMBRUSTER, B. (1996): Zu den technologischen Aspekten der Goldfunde aus dem bronzezeitlichen Schatz von Caldas de Reyes (Pov. Pontevedra). *Madri der Mitteilungen*, 37: 60-73.
- ARMBRUSTER, B. y PEREA, A. (1994): Tecnología de herramientas rotativas durante el Bronce Final atlántico. El depósito de Villena. *Trabajos de Prehistoria*, 51 (2): 69-87.
- MARCO SIMON, F. (1994): Heroización y tránsito acuático: sobre las diademas de Mones (Piloña. Asutrias). En: Mangas, J. Y Alvar, J. (eds.) *Homenaje a J. M. Blázquez*.
- PEREA, A. (1990): Estudio microscópico y microanalítico de las soldaduras y otros procesos técnicos en la orfebrería prehistórica del Sur de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria*, 47: 103-160.
- (1991a): L'apparition de la métallurgie de l'or dans la moitié méridionale de la péninsule ibérique. En: *Découverte du métal*. Picard, Paris: 295-301.
- (1991b): *Orfebrería Prerromana. Arqueología del oro*. Caja de Madrid. Comunidad de Madrid.
- (1995): La metalurgia del oro en la fachada atlántica peninsular durante el Bronce Final: interacciones tecnológica. En: M. Ruiz-Gálvez (ed.) *Ritos de Paso y Puntos de Paso. La Ría de Huelva en el mundo del Bronce Final europeo*. Complutum, extra 5: 69-78.
- PEREA, A. y ARMBRUSTER, B. (1997): El tesoro de El Carambolo visto desde el Proyecto Au. *Revista de Arqueología*, 195: 20-29.
- (1998): Cambio tecnológico y contacto entre Atlántico y Mediterráneo: el depósito de "El Carambolo", Sevilla. *Trabajos de Prehistoria*, 55 (en prensa).
- PEREA, A. y SANCHEZ-PALENCIA, F. J. (1995): *Arqueología del oro astur*. Caja de Asturias, Oviedo.
- PFAFFENBERGER, B. (1992): Social Anthropology of technology. *Annual Review of Anthropology*, 21: 491-516.
- PINCH, T. J. y BIJKER, W. E. (1994): The social construction of facts and artifacts: or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. En: W. E. Bijker, T. P. Hughes y T. J. Pinch (eds.) *The Social construction of Technological systems*, MIT Press, Cambridge: 17-50.
- RUIZ GALVEZ, M. L. (1978): El tesoro de Caldas de Reyes. *Trabajos de Prehistoria*, 35: 173-192.
- SCHIFFER, M. y SKIBO, J. M. (1987): Theory and experiment in the study of technological change. *Current Anthropology*, 28 (5): 595-622.
- Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

LAS MEDULAS (LEON), LA FORMACION DE UN PAISAJE CULTURAL MINERO¹.

Por F. J. SANCHEZ-PALENCIA (*), M.ª D. FERNANDEZ-POSSE (**),
J. FERNANDEZ MANZANO (***), A. OREJAS (****) y L. C. PEREZ GARCIA (*****)

R E S U M E N

La Zona Arqueológica de Las Médulas (León) es uno de los mejores conjuntos del noroeste hispano para entender, tanto el significado de la nueva tecnología minera, como el verdadero alcance del cambio histórico y cultural que supuso. Esta comunicación muestra las principales líneas de la formación de ese paisaje cultural minero, desde la época de los castros prerromanos hasta el abandono final de la minería romana de oro.

Palabras clave: Paisaje Cultural. Arqueominería. Noroeste de la Península Ibérica.

A B S T R A C T

The Archaeological Area of Las Médulas (León) constitutes an ideal setting in North-West of Spain to gain an understanding of both the new mining technology and the true extent of the historical and cultural change it signified. This paper tries to show the main trends of the formation of such a mining cultural landscape, from the time of the Pre-Roman castros (hillforts) to the ultimate desertion of the Roman gold mines.

Key words: Cultural Landscape. Mining Archaeology. North-West of Iberian Peninsula.

En diciembre de 1997, Las Médulas fue inscrita en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. El criterio que presidió este reconocimiento internacional es su excepcionalidad, su *valor universal excepcional* por expresarlo en los propios términos que explicita, en su artículo 11, la *"Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural"* (París, 1972).

En efecto, varias circunstancias convergen en La Zona Arqueológica de Las Médulas (ZAM) (fig. 1)

(¹) Este trabajo se realiza en el marco del proyecto de investigación PB94-0125 de la DGICYT *"Paisajes antiguos en la Península Ibérica: arqueología y textos"*.
(*) CEH del CSIC. Duque de Medinaceli, 6. 28014 Madrid.
(**) IPHE del M.ª de Ed. y Cultura. C/. del Greco, s/n. 28040 Madrid
(***) Dpto. Prehistoria y Arqueología de la Univ. de Valladolid. Facultad de Filosofía y Letras. Plaza de las Universidades, 1. 47002 Valladolid.
(****) Univ. Alfonso X el Sabio.
(*****) Sociedad Española de Talcos, s.a. Padre Isla, 9.º d. 24002 León.

para que su contenido patrimonial sea excepcional hasta el punto de merecer ser Patrimonio de la Humanidad. La primera de ellas es su *representatividad* como mina de oro romana, no en vano es una de las mayores alteraciones, si no la mayor, producidas sobre el medio físico durante la Antigüedad, puesto que la mina de oro romana a cielo abierto alcanza los 3 km de extensión máxima y llega a tener más de 100 m de profundidad. Pero, sobre todo, es la más completa. Reúne todos los elementos que permiten definirla como un paisaje minero: los desmontes o vaciados que documentan las técnicas de explotación, la red hidráulica, los conos de deyección de estériles, etc. Con ello nos estamos refiriendo a su *integridad*, no sólo porque su magnífico estado de conservación permite comprender, entre otras muchas cuestiones, los métodos de extracción, el avance de las labores mineras, el tiempo que estuvo en explotación y la rentabilidad, sino porque eso es algo insólito en la minería antigua, generalmente desaparecida o enmascarada bajo la moderna.

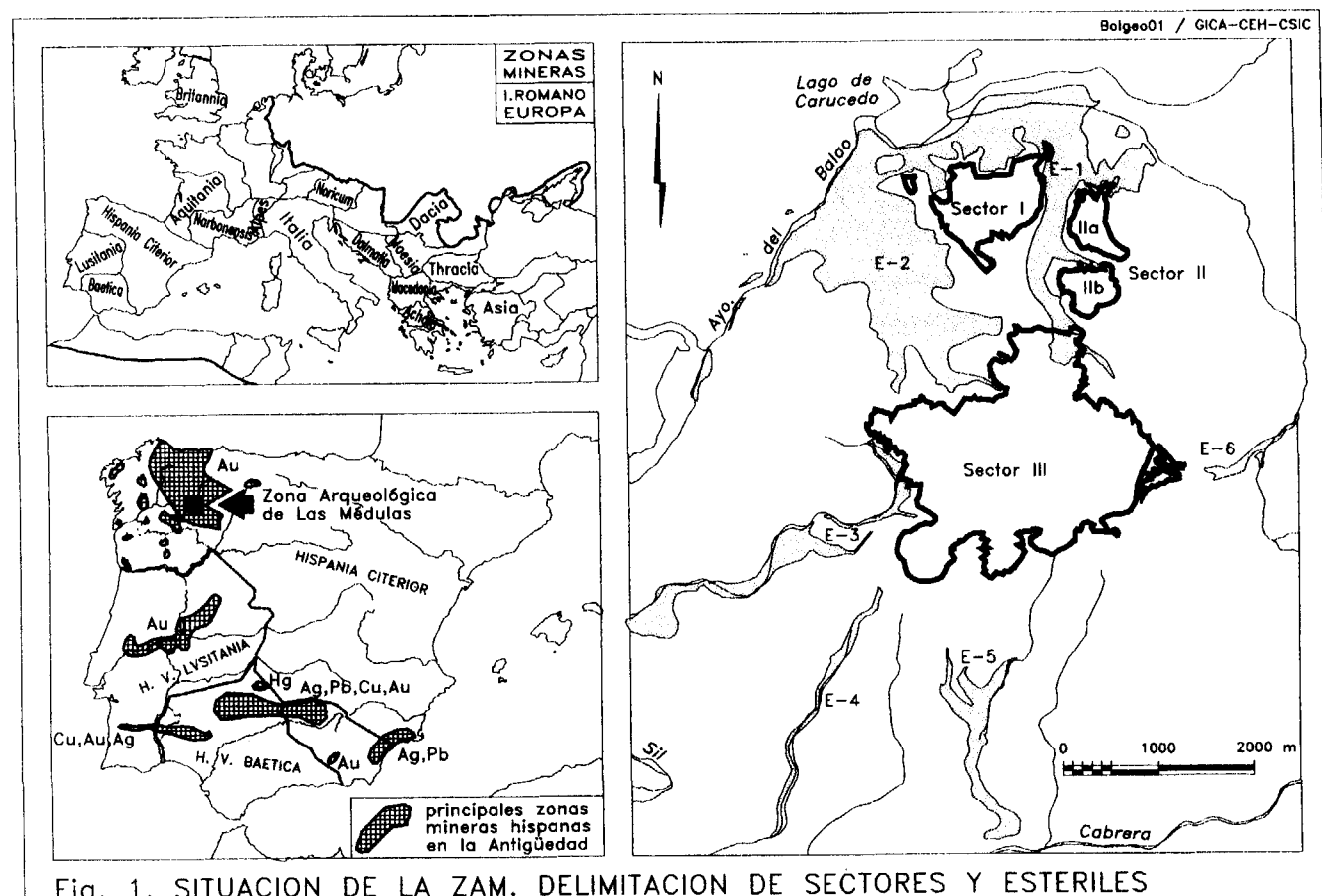


Fig. 1. SITUACION DE LA ZAM. DELIMITACION DE SECTORES Y ESTERILES

La segunda de esas circunstancias es que esa integridad no atañe sólo a las huellas en el paisaje que ha dejado la explotación aurífera, sino que constituye también, y sobre todo, un ejemplo excepcional de un *proceso histórico*. Hasta hace muy poco era común acudir al mito y a la leyenda para justificar su existencia: los numerosos esclavos con que contaba Roma y el oro que el Imperio expolió en Hispania. Era un enmascaramiento no exento de cierto encanto y atractivo, pero que encubría una realidad histórica mucho más rica y compleja de lo que parece a simple vista. Las Médulas es la mejor muestra, aunque no la única, del profundo cambio que produjo la minería de oro romana entre las comunidades que habitaban el noroeste peninsular.

En efecto, en su entorno se conservan otros elementos igualmente necesarios para comprender su existencia y desarrollo y que configuran de

igual forma ese paisaje minero: desde los poblados donde se alojaba a la mano de obra a aquellos otros que explotaban la gran variedad de recursos necesarios para hacer viable el funcionamiento del sistema, pasando, como es lógico, por la residencia de la propia dirección administrativa y técnica de la mina. En definitiva, la ordenación del espacio, sus recursos y su población; siempre con la indispensable visión diacrónica que se extiende desde el momento prerromano hasta el abandono de la explotación del oro por parte de Roma. Es decir, los testimonios del paisaje campesino de los castros ocupados por los indígenas astures que ocupaban la comarca y su transformación por la puesta en marcha y desarrollo de esa nueva actividad económica a gran escala impuesta por la administración romana que es la minería del oro. Algo que supuso la aparición paulatina de un nuevo paisaje minero, un cambio radical en las estructuras sociales y

económicas y la integración de la comarca en esquemas tan amplios como eran los del Imperio Romano.

Todos esos elementos, en su enriquecedora diversidad, se articulan de forma obligada y evidente. Pero en la ZAM lo hacen en lo que puede considerarse una tercera circunstancia afortunada: su *escala*. En efecto, todos ellos son capaces de mostrarse, en su doble dimensión temporal y espacial, en poco más de 10 Km². Esta característica de ser abarcable, en donde forma y contenido se relacionan con facilidad, permite que un visitante, con una somera información, pueda comprender el proceso histórico que ha construido ese paisaje.

Todo ello permite hablar de la ZAM como un *Paisaje Cultural* y como testimonio de un proceso histórico que se ejemplifica en él. Esa apreciable dimensión es precisamente lo que reconoce la UNESCO cuando incorpora Las Médulas al Patrimonio de la Humanidad. Lo hace en virtud de ser un ejemplo del genio creador humano, un eminente conjunto tecnológico, de ser un testimonio único de una civilización desaparecida, de documentar el desarrollo de la cultura y la tecnología de una época determinada, pero, sobre todo, lo hace como creación de un paisaje característico que ilustra una actividad significativa en la Historia de esa Humanidad. Reconoce, pues, su especificidad como Paisaje Cultural dentro de lo que ese organismo internacional define como *paisaje relicto*, que pudiéramos también llamar arqueológico, dentro de sus paisajes evolutivos. Un paisaje que conoció un proceso evolutivo para detenerse en un cierto momento del pasado, pero que en sus características esenciales y en sus elementos, en su forma y en su contenido, ha quedado materialmente visible. Definición, dentro de aquella más amplia de los paisajes como resultado de la interacción de la humanidad y el medio, que propugna un continuo entre lo natural y lo cultural.

Esa misma continuidad no deja de estar presente en la ZAM. Así, las enormes alteraciones producidas por la minería romana sobre el medio físico supusieron, tanto la remoción de millones de metros cúbicos de tierra, como el vertido de una cantidad tal de materiales estériles que taponó un valle y dio lugar a la aparición de un lago, el

de Carucedo, cuya riqueza en anguilas y truchas sería luego objeto de disputa a lo largo de la época medieval. Así mismo, los canales que conducían el agua para utilizarla como fuerza de extracción, arrastre, lavado y evacuación en la mina desde distancias superiores a los 100 km, incluyendo el primer transvase de agua de nuestra historia, del Duero al Sil, formaron una red hidráulica que posteriormente quedó fosilizada como "carriles" o caminos de comunicación y trasiego de ganado por los habitantes de la zona.

Se trata por lo tanto de un paisaje cultural con numerosos elementos fósiles, pero *dinámico* a la par, que ha incidido en las formas de vida hasta nuestros días: las afamadas castañas y los castaños de enormes troncos huecos y torsos de la zona son herencia de los que se cultivaron por primera vez en tiempos romanos como nuevo recurso nutritivo contemporáneo de la mina de oro, aunque la especie estuviese documentada ya con anterioridad en diversas zonas del Noroeste.

En fin, los criterios oficiales que concreta y maneja la UNESCO para su Patrimonio Mundial son, como vemos, creíbles y progresistas. Superan con creces un concepto de Patrimonio Histórico que, todavía con connotaciones artísticas y monumentales, descontextualiza al bien cultural del proceso histórico y del paisaje del que forma parte. En ese sentido Las Médulas viene a cubrir un vacío en la Lista española.

Esta perspectiva de Las Médulas como testigo presente de un verdadero proceso histórico es la que ha guiado durante casi una década nuestra investigación. No se trata de una postura "científica" aislada; creemos que responde a las renovaciones profundas que se han producido a escala mundial en el concepto de Patrimonio, que ha perdido buena parte de su carga objetual y monumental, de creación singular, y ha ganado valor como testimonio integral de la perenne interacción entre la actividad humana y su entorno.

Consideramos que la sintonía entre ese concepto del patrimonio que ha puesto a punto la UNESCO, además de otros organismos internacionales como puedan ser la Comunidad Europea o el Consejo de Europa, y la investigación arqueoló-

gica que hasta el momento se ha llevado a cabo en la ZAM, es considerable, por no decir, total. En efecto, el Proyecto de investigación "Zona Arqueológica de Las Médulas" se emprendió, en 1988, con una doble concepción. De un lado, como el estudio de una zona minera romana con una escala y un enfoque acorde con las recientes tendencias de la *Arqueología del Paisaje* y, de otro, como el desarrollo de las *Zonas Arqueológicas*, figura que tipifica la Ley española de Patrimonio Histórico, como *Parque Arqueológico*. Ambas vertientes se plantearon desde el principio como complementarias, de forma que la investigación y su proyección social convergían en el conocimiento y valoración de un Paisaje Cultural (SANCHEZ-PALENCIA y otros, 1996).

La génesis histórica de este paisaje cultural minero se inició tras la conquista romana del noroeste peninsular, que marcó el comienzo de la explotación sistemática del oro de sus territorios. Esta nueva y pujante actividad económica hay que entenderla como una consecuencia y no como una causa de tal conquista y está directamente relacionada con la revisión y aprovechamiento de todos los recursos del Imperio que Mecenas aconsejó a Augusto, según Diodoro (D.S. 52, 48, 4-5), más en particular con la importancia que adquirió el oro como uno de los apoyos indispensables para el nuevo sistema monetario regularizado por el mismo emperador. Así, desde los primeros años del siglo I d.C., se inició una explotación controlada por el estado romano y los territorios del noroeste peninsular se vieron sometidos a un proceso de reorganización dirigido principalmente a posibilitar la puesta en marcha de esa minería y toda la infraestructura que implicaba.

Si se contempla este proceso desde una perspectiva diacrónica, es más fácil comprender lo que supuso la puesta en marcha de la explotación a gran escala del oro en época romana. Hasta la ocupación romana, el beneficio del oro se centró casi por completo en los placeres fluviales y la actividad minera y metalúrgica se mantuvo en un nivel artesanal, circunscribiéndose a la propia comunidad, dentro de la economía autosuficiente que caracterizaba a las comunidades campesinas castreñas (SANCHEZ-PALENCIA y FERNANDEZ-POSSE, 1998). De este tipo de explotación, reali-

zada mediante batea fundamentalmente, es resultado significativo la distribución de los hallazgos de la orfebrería prerromana (PEREZ OUTEIRIÑO, 1989; SANCHEZ-PALENCIA y FERNANDEZ-POSSE, 1998). Estos se concentran en áreas próximas a los ríos y son casi inexistentes en las zonas interiores de la *Asturia* romana y en particular del occidente leonés, donde se encuentran algunos de los yacimientos más importantes, como el de Las Médulas, posteriormente explotados en época romana (SANCHEZ-PALENCIA y OREJAS, 1994; PEREA y SANCHEZ-PALENCIA, 1995).

Este cambio de escala, de lo artesanal a lo protoindustrial, que a partir de época romana experimenta la minería en el noroeste se ve reflejado en toda la estructura y organización administrativa puesta en marcha por el estado romano, al que no sólo corresponde de forma exclusiva la propiedad, sino que es también quien controla y gestiona todo el proceso minero para la obtención del oro. Junto a esto, debemos tener en cuenta el carácter de las explotaciones para comprender el alcance que tuvo la minería como factor capital en las transformaciones de las estructuras económicas y sociales de época prerromana.

Sabemos que la explotación de los yacimientos auríferos sólo fue posible a partir de la realización de trabajos sistemáticos de prospección. Desde las zonas bajas se remontaban los valles lavando con la batea muestras de material (el *segutilum* de que habla Plinio, NH, 33, 67) extraído de los ríos o de las terrazas de estos con el objeto de descubrir dónde se encontraban las zonas con mayor potencial aurífero y cuya explotación resultase rentable. Una vez localizado un yacimiento, se iniciaba su explotación, siguiendo a su vez un avance en ascenso; de esta manera la prospección y la explotación seguían un desarrollo en doble sentido: valle arriba y remontando la ladera del monte, desde los yacimientos aluviales o secundarios hasta los existentes en roca o primarios. Por ejemplo, si se remonta el curso del Sil desde la confluencia del Lor, aguas abajo de Quiroga, hasta Las Médulas se puede comprobar, bien a través de los frentes de explotación que ponen al descubierto el aluvión rojizo, bien a través de los amontonamientos de "murias" o cantos rodados que delatan el lavado del material

aurífero, que apenas existen unos kilómetros a lo largo del valle sin explotar. Ciertamente no en todas las zonas se han conservado los yacimientos primarios de donde proceden por erosión los aluvionares o secundarios, como es el caso en parte de las propias Médulas, donde la fuerte erosión remontante (patente por sus valles muy encajados) del Cabrera y del Valdueza los eliminó (PEREZ GARCIA y SANCHEZ-PALENCIA, 1992).

Una vez descubierto el yacimiento aurífero, la explotación de Las Médulas se llevó a cabo avanzando desde el Norte y Noreste hacia el Sur. Aunque frecuentemente sólo se presta atención a la zona más espectacular de la mina, la situada al Este del pueblo del mismo nombre, los desmontes o vaciados mineros romanos comprenden tres claros sectores (fig. 1 y 3) (SANCHEZ-PALENCIA y otros, 1996, 72-83). El sistema de explotación general empleado en todos ellos no difiere mucho en sus fundamentos del empleado en la actualidad para los mismos tipos de yacimientos auríferos. Equivale en buena parte a lo que Plinio describe en un famoso pasaje del libro 33 de su *Historia Natural* (33,70-78), refiriéndose en particular al sistema de explotación de cortas de minado, con el nombre de *arvrgiae* o *rvinae montivm*. Aunque dicho pasaje es el citado siempre que se habla de Las Médulas, el mismo tipo de explotación ya había sido descrito bajo el nombre de *crisoplisia* (es decir, lavado del oro) y referido a minas de la misma Península Ibérica por el geógrafo Estrabón (Str. 3,2,8), que seguramente se basaba en textos de Posidonio. Consiste fundamentalmente en emplear la fuerza hidráulica desde las zonas más altas para realizar las siguientes operaciones esenciales:

- Abatir o arrastrar y deshacer el conglomerado aurífero. Estas dos operaciones pueden ser simultáneas y continuas o no en función de la masa a explotar y del volumen de agua que se pueda emplear.

- Encauzar el flujo de lodo así generado hasta los canales de lavado o *agogae* donde se produce la decantación del oro. Esta operación ha de tener una continuidad con la anterior, evitando así la pérdida de fuerza del flujo y la posible deposición, antes de entrar en el canal de lavado, de las partículas de oro.

- Eliminar a la par los cantos rodados más grandes o pesados, que se irían depositando en los tramos que preceden al lugar de emplazamiento del canal de lavado, formando las denominadas "murias", y evacuar los estériles menos pesados fuera de los sectores de explotación, para permitir así que la labor extractiva prosiga.

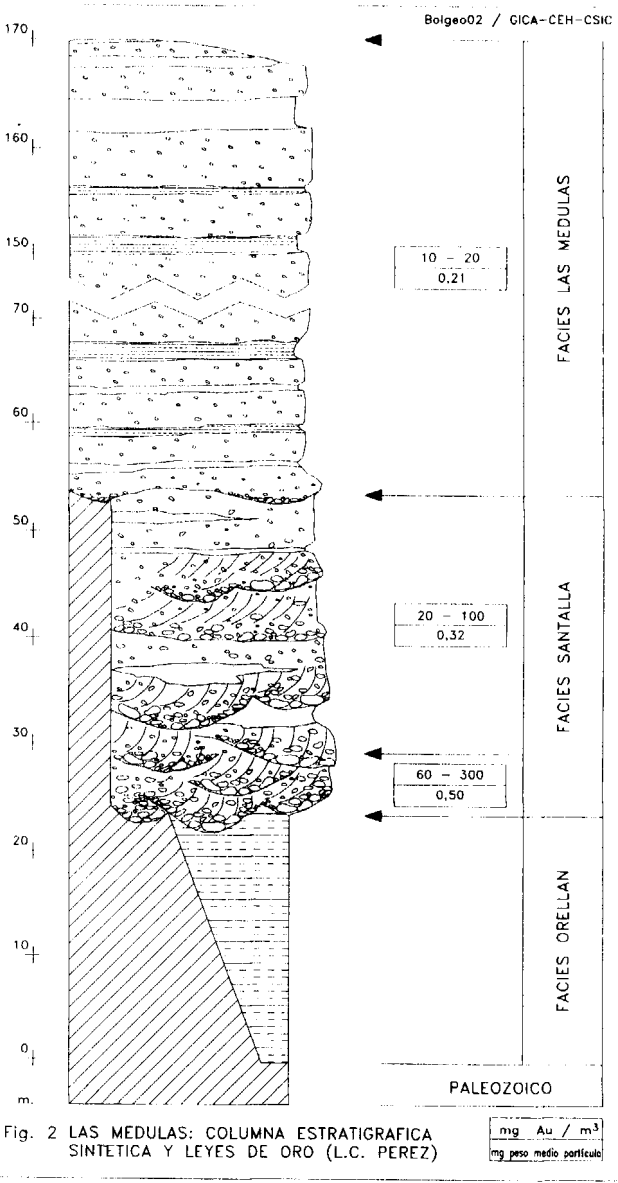
La concreta aplicación de este sistema general dependía de las características topográficas de cada sector, de la potencia del conglomerado y de su contenido o ley de oro. Esta última, como es sabido, siempre resulta muy difícil de precisar, pero de los estudios geológicos realizados hasta ahora (sintetizados por L.C. PEREZ GARCIA: PEREZ GARCIA y SANCHEZ-PALENCIA, 1992, 871s y en SANCHEZ-PALENCIA y otros, 1996, 68s; ver también: HERAIL y PEREZ GARCIA, 1989) pueden establecerse las siguientes leyes por facies (fig. 2):

- En la facies Orellán, que es la inferior y alcanza entre 0 y 25 m de potencia, el conglomerado está compuesto por cantos pequeños de pizarra (con una media por debajo de los 10 cm) entre una matriz arcillosa marcadamente rojiza y su contenido en oro es nulo. De hecho no fue explotada por los romanos, que sólo excavaron en ella los canales de evacuación de estériles.

- La facies Santalla es la intermedia y está compuesta por cantos rodados de gran tamaño (llegan hasta los 80 cm de diámetro), arcillas y arenas. Su potencia oscila entre 0 y 30 m. La ley oscila desde los niveles inferiores (unos 5 m) más ricos, que pueden llegar a 60-300 mg/m³, hasta el resto, mucho más pobre, con 20-100 mg/m³. El peso medio de las partículas de oro es de 0,50 mg en los niveles inferiores y de 0,32 mg en el resto.

- La facies Las Médulas es la superior, llega a superar los 100 m de potencia y está compuesta por bancos alternos de conglomerados y de limos y arenas. Su ley es marcadamente más pobre que en la anterior facies, 10-20 mg/m³, y el peso medio de las partículas es también inferior: 0,21 mg.

Los tres sectores diferenciados a que antes nos referíamos y las características más destacadas de su particular explotación son las siguientes (fig. 3):



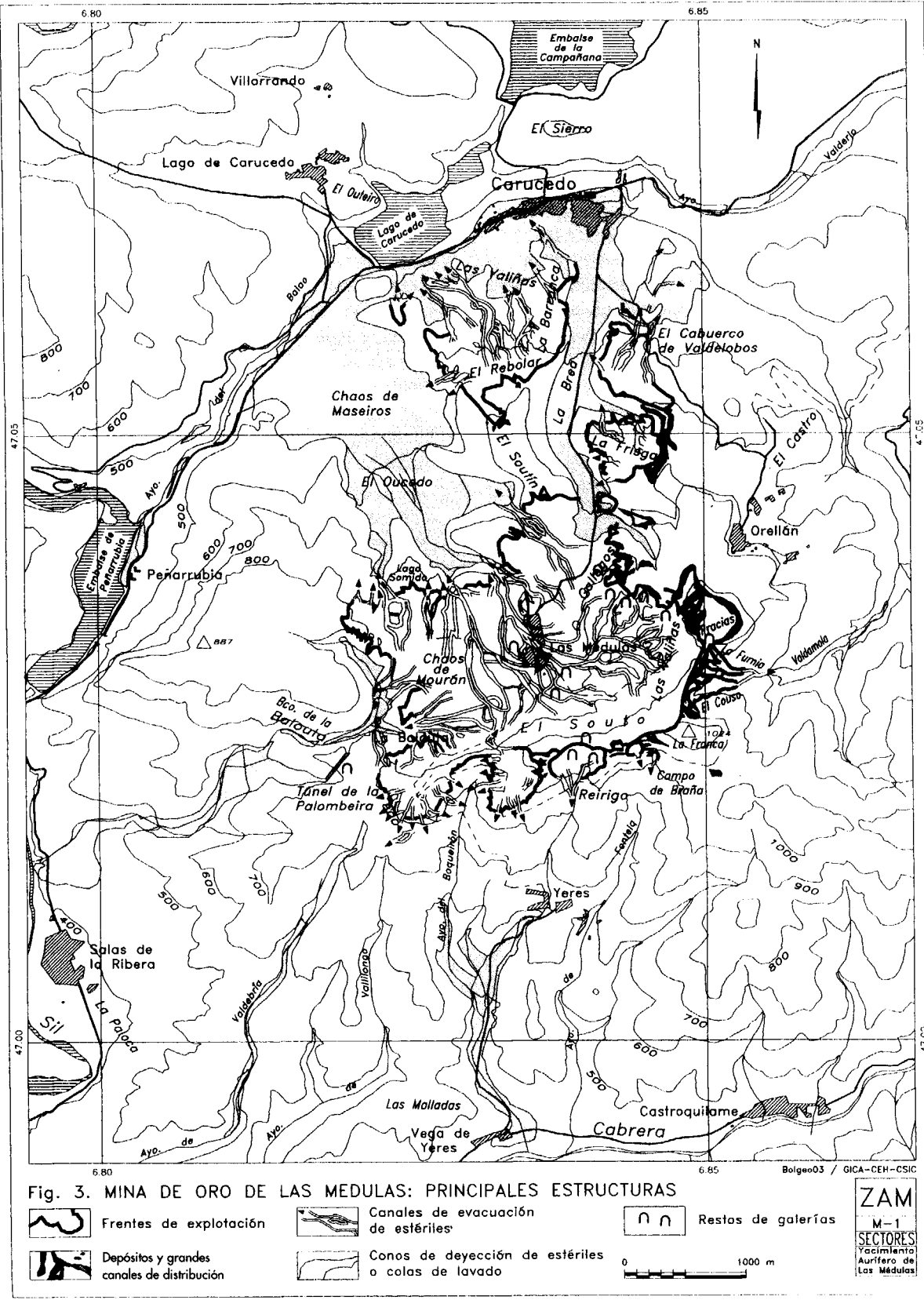
- Sector I: Se sitúa al Suroeste y junto al pueblo de Carucedo, formando una especie de triángulo que ocupa una extensión de unos 820.000 m². Muy posiblemente fue el primero en ser explotado y es también el sector más enmascarado por las transformaciones posteriores a la minería romana, lo que dificulta su interpretación. Las labores se realizaron casi exclusivamente sobre los materiales de la facies Santalla, de forma que en las zonas más bajas (muy difíciles de interpretar por la mencionada alteración) se aplicaron sistemas de explotación selectivos, mediante sur-

cos convergentes con los que se iba extrayendo y lavando sistemáticamente todo el conglomerado y en las más altas y con mayor potencia (por lo tanto, relativamente más pobres en su conjunto) se utilizaron sistemas de explotación extensivos a base de zanjás-canales, que atacaban en mayor profundidad el conglomerado para alcanzar los niveles de contacto más ricos.

- Sector II: Se subdivide, aparte de algunos trabajos de menor importancia, en dos grandes cortas alineadas entre las carreteras que se dirigen de Carucedo a Orellán y a Las Médulas: Ila, Valialonga - El Cabuenco de Valdelobos, al Norte y IIb, La Frisga, al Sur. Ocupa unos 570.000 m² y pudo iniciarse a la par que el primero. Aquí ya se encontraron los romanos con el recubrimiento de la facies Las Médulas (al menos en la parte más meridional de La Frisga), aunque las labores también afectaron en esencia a la facies Santalla mediante sistemas de explotación similares a los utilizados en el sector I. Particular interés posee el sector IIb de La Frisga, donde son especialmente claros los restos de las series de surcos convergentes con que se explotaron exhaustivamente los niveles de contacto de la facies Santalla donde se conserva "in situ" parte de un canal de explotación o *emissarium* en obra de fábrica. La explotación selectiva que estos últimos trabajos implica debió de estar precedida en las zonas con mayor potencia de conglomerado, es decir, en las zonas situadas más al Sur y donde se hace patente con claridad la facies Las Médulas, de una explotación extensiva a base de zanjás-canales que atacase en profundidad ese recubrimiento más pobre.

En ninguno de estos dos sectores se aplicó el sistema de explotación extensivo mediante cortas de minado o *ruinae montium*, sin duda a causa de la escasa potencia en ellas de los niveles más pobres de la facies Las Médulas.

- Sector III: Forma, con sus 4.000.000 m² largos de superficie vaciada, el núcleo más grande y conocido de Las Médulas. No se limita al gran circo de las Valiñas, sino que se extiende ampliamente hacia el Oeste, de forma que alcanza prácticamente 3 km de extensión máxima. El inicio de su explotación pudo ser contemporáneo con las últimas labores del sector II y se llevó a cabo esencialmente con los mismos sistemas de explota-



ción que en los otros dos sectores, pero los últimos trabajos los habrían realizado los romanos ya mediante la espectacular técnica extensiva de las cortas de minado o *ruina montium*, practicando galerías para socavar y derrumbar grandes masas de aluvión, según se puede ver en la zona situada justo debajo y al Oeste del llamado mirador de Orellán, donde los frentes de explotación aplomados y los restos evidentes de una espectacular red hidráulica de explotación ponen de relieve el empleo de la mencionada técnica.

Pero, si los desmontes mineros son las estructuras más espectaculares de este paisaje minero, el alcance de las labores antiguas no puede comprenderse si no se tienen en cuenta otras evidencias que también han dejado unas claras huellas topográficas, quizás menos llamativas pero no por ello de menor importancia. En efecto, a las 542 ha de superficie transformada por los romanos en los tres sectores excavados, hay que añadir las 584 ha de estériles acumulados en seis sectores que rellenan antiguos valles y cuya distribución y localización, por orden cronológico de formación, es la siguiente (fig. 1 y 3):

- E-1: La Brea-Carucedo viene a coincidir con la carretera Carucedo-Las Médulas. Se formó con los estériles de los sectores I y II y con la zona situada más al Noreste del III.

- E-2: El cono de deyección de Chaos de Maseiros comprende el gran llano en pendiente desde los pies de la propia mina hasta el arroyo del Balao. Se formó con los aportes de una pequeña zona del sector I y casi todas las zonas del sector III. Estuvo en funcionamiento hasta los últimos momentos de la explotación y produjo el cierre del paleovalle del arroyo del Balao y, por lo tanto, la formación del Lago de Carucedo.

- E-3: Barranco de La Balouta-Los Carrascaes. Se extiende desde el caserío abandonado de Balouta hasta las inmediaciones por el N de Salas de La Ribera, alcanzando como el anterior hasta el Sil. Esta extensa cola de lavado se formó desde las zonas más occidentales del sector III. En su parte alta se sitúa el túnel de evacuación de estériles de La Palombeira, excavado para salvar el profundo meandro del Barranco de la Balouta, que seguramente actuaba de obstáculo para una adecuada evacuación de los estériles

- E-4: Arroyo de Valdebría. Es una pequeña cola de lavado vertiente hacia el Sil en dirección a Puente de Domingo Flórez. Se formó con los estériles procedentes de una pequeña zona del sector III.

- E-5: Yeres-Arroyo del Boqueirón. Vierte ya hacia el Cabrera y se extiende desde Yeres hasta el caserío más oriental de Vega de Yeres. Se formó durante la explotación de las zonas meridionales del sector III.

- E-6: Barranco de Furnias-Valdamola. Vierte hacia el arroyo de Isorga. Se formó exclusivamente con las labores del sector III situadas al este del mirador de Orellán.

Si a estos terrenos les añadimos las 102 ha correspondientes al lago de Carucedo y a las zonas sedimentadas aguas arriba del lago a raíz de la explotación romana, que se extienden hasta los terrenos denominados Las Suertes, ya en Borrenes, la superficie total transformada en relación con la mina es de 1.228 ha.

Para completar el panorama de lo que nos ha quedado en este paisaje minero, hay que considerar, por fin, los importantes restos de la red hidráulica. En numerosos puntos de las vertientes septentrionales y meridionales de los Montes Aquilianos, se conserva aun el trazado de los canales o *corrugi* que abastecían de agua a Las Médulas, que alcanzan más de 100 km en algún caso. Aunque su elaboración distaba mucho de la perfección conseguida en los acueductos de abastecimiento urbano, según Plinio (NH. 33,74-76) se trataba de un trabajo parejo o incluso mayor por su envergadura al de la propia labor minera. Los cauces oscilan entre 3 y 5 pies romanos (90-150 cm) de anchura y se trazaban con un instrumento llamado *chorobates* (una especie de gran nivel de pínulas, dotado de plumadas y nivel de agua), con una pendiente en torno al 0,5 %. Su sección hábil tenía una profundidad muy reducida: unos 10 cm, según se puede comprobar por la erosión que causó el agua en su fondo. Las obras más comunes para dar paso a su trazado son los cortes en la roca y los aterrazamientos o banales, aunque también se conservan algunos ejemplos de túneles de corto recorrido.

El agua así transportada llegaba hasta los depó-

sitos, *piscinae* o *stagna*, situados sobre los frentes de explotación, de dimensiones muy variadas según los sistemas concretos de explotación utilizados o el volumen de tierra que se desease extraer, arrastrar, lavar y evacuar. El depósito de agua más grande conservado, el de La Horta junto al mirador de Orellán, poseía una capacidad de 16.000 / 18.000 m³.

Lógicamente, la única red de abastecimiento de agua que se puede reconstruir íntegramente en la actualidad es la correspondiente a las últimas fases de explotación en el sector III, ya que la infraestructura hidráulica anterior quedaba generalmente destruida por el avance de la propia mina. No obstante sí son reconocibles numerosos depósitos y canales junto a los sucesivos frentes de explotación y, sobre todo, se conserva el trazado paralelo y cada vez más alto de los diferentes canales de abastecimiento que fue preciso construir a medida que la mina progresaba.

Según los datos procedentes de las excavaciones recientemente realizadas en la zona, puede estimarse que la actividad minera en Las Médulas se extendió aproximadamente entre el 30/40 d.C. y finales del siglo II o comienzos del III d.C., es decir, a lo largo de 160/190 años. Si asumimos que se removieron unos 100 millones de m³, el volumen medio de tierra removida habría sido de unos 625.000/525.000 m³ al año. Más complicado resulta estimar el oro producido. A modo de aproximación a esta cuestión y de acuerdo con las leyes de oro antes mencionados, podemos considerar, siendo bastante optimistas, una ley media recuperable de 50 a 100 mg/m³; si así fuese, los romanos habrían conseguido unos 5.000 a 10.000 kg de oro, con una producción media de 31,25 a 62,5 (160 años) o 26,32 a 52,64 (190 años) kg de oro/año. Plinio el Viejo (en el siglo I d.C.; murió en la erupción del Vesubio que destruyó Pompeya después de haber sido gobernador de la Hispania Citerior) apunta que toda Asturia (principal productora y donde se encontraba el mayor número de minas, entre ellas Las Médulas), Gallaecia y Lusitania producían 20.000 libras de oro/año (unos 6.550 kg de oro/año) (NH. 33,78). En tal caso, la media de Las Médulas no alcanzaría al 1% del total.

Queda, por último, examinar el impacto de toda

esta compleja actividad minera sobre la población astur. El carácter necesariamente "móvil" de la labor minera y la copiosa infraestructura que requería su puesta en marcha hacían imprescindible una completa reestructuración y planificación del territorio, no sólo a nivel comarcal, sino también interregional. Tal alcance territorial requería también una intensificación de la explotación de otros recursos igualmente importantes para su mantenimiento, como los agropecuarios u otros recursos minerales, actividades que no se pueden desvincular del desarrollo de la propiamente aurífera. Por ello el paisaje prerromano, caracterizado por la presencia del castro como unidad territorial, desaparece para dar paso a uno completamente nuevo, caracterizado por un poblamiento que rompe con los esquemas espaciales anteriores: aparecen asentamientos de morfología diferente, numerosos núcleos de población con funcionalidades diversas, sometidos a una jerarquización en la que cada asentamiento tiene sentido en cuanto que forma parte de esta nueva organización territorial y, por supuesto, responde a una nueva estructura social (SASTRE, 1998).

Los asentamientos de morfología castreña siguen existiendo, pero ya no responden al modelo de economía autárquica que los caracterizaba, sino que están integrados en toda una estructura de poblamiento del territorio que busca la vertebración y organización del espacio para hacer efectiva su explotación. Son los denominados castros mineros, asentamientos que albergan, sobre todo en los primeros momentos, la mano de obra directamente relacionada con las explotaciones o con su infraestructura, como los de Cerro Pendón, el Castro del Cabuerco de Valdelobos, La Corona de Yeres o el Castro de Puente.

Estos primeros castros mineros mantienen en gran medida las características constructivas prerromanas, pero no responden a la racionalidad autosuficiente campesina, sino que adquieren sentido en relación con las explotaciones mineras. La mejor prueba del carácter residual de esas pervivencias indígenas es que en la primera ocupación de asentamientos no castreños, como el metalúrgico de Orellán, también se documenta un poblamiento que imita en todo a las antiguas unidades de ocupación, equivalentes a unidades

domésticas familiares, de los castros prerromanos. Su residualidad quedará más patente aún cuando, con posterioridad, sean absorbidas dentro de un trazado ortogonal y unas construcciones con patios totalmente romanos. Esas pervivencias de lo indígena no se restringen a las características constructivas o al emplazamiento de los asentamientos, sino que también afectan al resto del registro material y en particular a los útiles de cerámica. En la primera fase de ocupación de Orellán, hacia el segundo tercio del siglo I d.C., la cerámica es predominantemente de tradición indígena e incluso hecha a mano.

En último término, como ya se documentó en la Corona de Quintanilla dentro de la Valduerna (DOMERGUE, 1986) o en el Castro de Corporales en la Cabrera Alta (FERNANDEZ-POSSE y SANCHEZ-PALENCIA, 1988), los asentamientos de morfología castreña se van desdoblado en asentamientos en llano y acaban por desaparecer. Sólo se mantienen allí donde la morfología del terreno no hace posible otro tipo de asentamiento, como ocurrió con bastantes castros vinculados a la red hidráulica de Las Médulas en las dos vertientes de los Montes Aquilianos, entre los que el de la Peña del Castro de Saceda es un ejemplo muy representativo.

La permanencia de ciertos rasgos morfológicos castreños se explica por la propia continuidad de las comunidades indígenas, que son el componente demográfico casi único en las zonas mineras de todo el noroeste. La propiedad y gestión estatal directa de las minas de oro dejaba escasas posibilidades para que personas particulares se enriquecieran con su explotación y realizaran inversiones en estos territorios, con lo que se limitó así la inmigración de gente proveniente de otras zonas, cuya presencia se reduce casi exclusivamente a las capitales administrativas y a los centros de control de las explotaciones.

En líneas generales, en el noroeste no se puede hablar de un aumento demográfico significativo a pesar de la multiplicación de los núcleos de población con respecto a época prerromana. Las poblaciones indígenas son reordenadas y trasladadas allí donde la explotación minera lo requiera, lo que implicó un aumento demográfico en zonas anteriormente deshabitadas, pero éste no fue tan significativo si lo contemplamos a escala

global de todo el territorio noroccidental. Tengamos en cuenta que en castros prerromanos como la Corona de Corporales, junto al nacimiento de uno de los canales de Las Médulas, o en El Castrelín de San Juan de Paluezas y el Castro de Borrenes, ya dentro de la propia ZAM, el poblado no se reutiliza tras la conquista, sino que se destruye o abandona, lo que lleva a pensar que sus habitantes fueron trasladados a otras zonas más o menos cercanas, seguramente en relación con el inicio de los trabajos mineros.

Pero, junto a los núcleos de morfología castreña, aparecen toda una serie de asentamientos de diferente tamaño y configuración. En la ZAM vemos como en la vega de Borrenes, en los terrenos que se localizan en torno al actual embalse de la Campañana o en el valle del Sil en Salas de la Ribera surgen asentamientos dedicados a la explotación de los recursos agropecuarios de la vega. Otros núcleos, como el citado asentamiento de Orellán (también han proporcionado abundantes escorias La Sufreira de La Barosa o el Cabezo de Vega de Yeres dentro de la propia ZAM), se dedican a la manufactura de objetos de metal, o a labores más directamente relacionadas con el mantenimiento de la infraestructura minera, como algunos encargados del cuidado de los canales, caso de Las Portiellas de Voces.

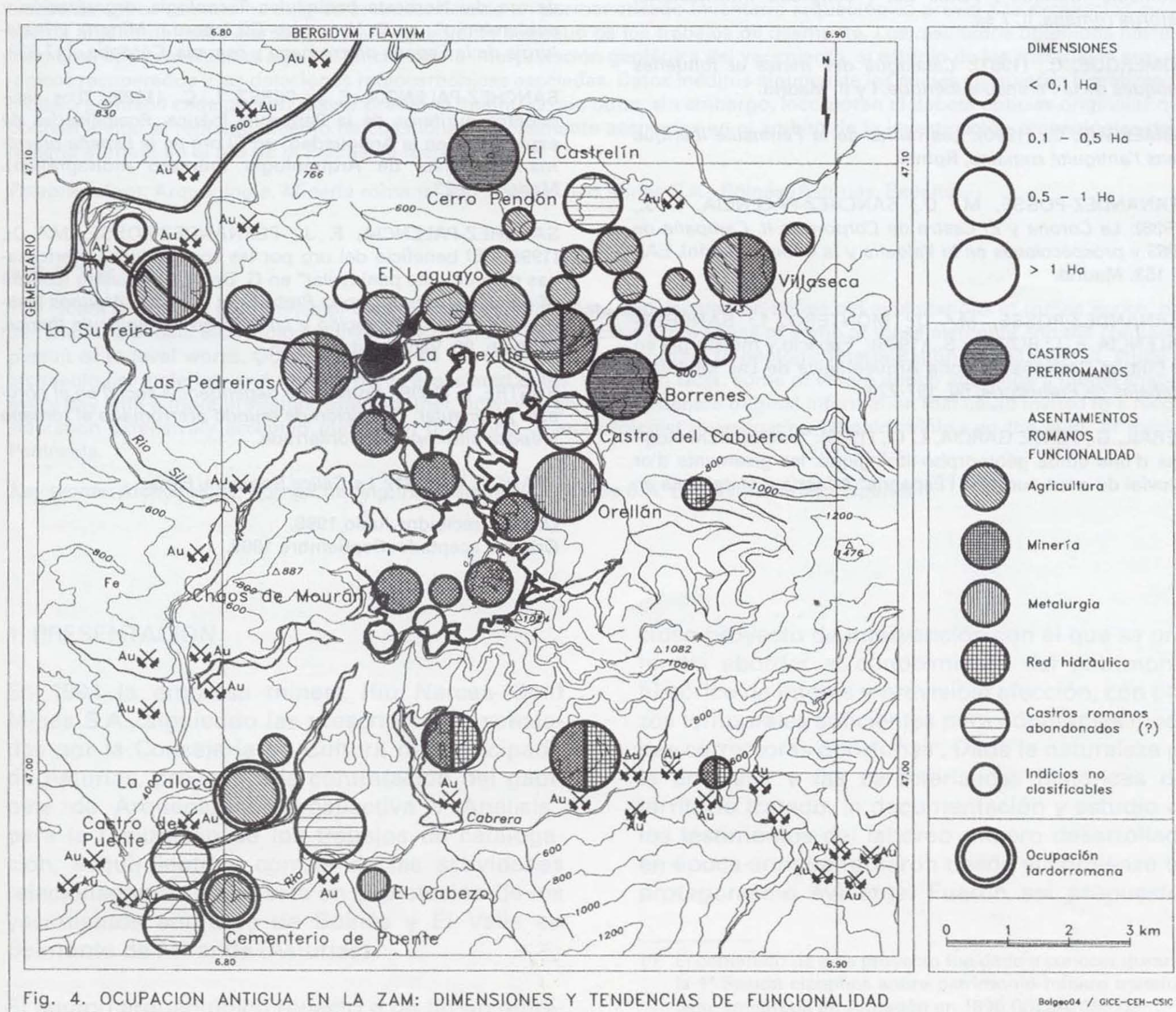
También se ha documentado otro tipo de asentamiento de corte formal "más romano", como el asentamiento de Pedreiras de Lago, cuya construcción, materiales y disposición interna siguen modelos netamente mediterráneos desde época muy temprana, alejados de las tradiciones indígenas, lo que lleva a pensar que podría tratarse de un asentamiento con función de control técnico, posiblemente una *officina metallorum*, que albergaría al personal administrativo o militar encargado de la explotación, de manera semejante a lo que ocurre con la mal denominada "villa" de El Soldán, en la cuenca del Turienzo, y seguramente con Huerña y, con mayor fundamento, con el asentamiento (no localizado con precisión) al que han de asociarse las famosas inscripciones de Villalís en la Valduerna.

Son numerosos los problemas que se plantean todavía en el estudio del poblamiento romano, como el de la caracterización arqueológica y clasificación y jerarquización de los nuevos asenta-

mientos. Lo que sí está claro es que, aunque se pueden distinguir tendencias de funcionalidad dominante entre los distintos asentamientos (fig. 4), no tiene sentido establecer una diferenciación basada en una bipolarización económica entre asentamientos mineros y asentamientos agrícolas (algunos autores han querido establecer una diferenciación basada en castros mineros y castros agrícolas), en la medida en que todos forman parte de una misma estructura y una misma organización.

Como veíamos al principio, el desarrollo de las nuevas estructuras socioeconómicas conlleva un profundo cambio en el que el anterior paisaje

campesino, caracterizado por la presencia de comunidades independientes con una economía cerrada de carácter local, deja paso a un paisaje en el cual las relaciones comunitarias se rompen, las unidades de poblamiento se amplían y la diversificación productiva necesaria para el mantenimiento de las comunidades se desarrolla a una escala interregional. El castro ya no es el centro de explotación del territorio, sino que encontramos conjuntos de asentamientos vinculados entre sí que funcionan de manera complementaria. Estamos ante una ordenación económica conjunta de grupos de asentamientos acorde con el tipo de explotación que requiere la minería del oro (fig. 4).



REFERENCIAS

ALVAREZ, Y., (1993): "Arqueología del Paisaje: modelos de ocupación y explotación de los castros del valle de Noceda (León)", *Complutum*, 4, 265 ss.

ALVAREZ, Y., (1997): "Ocupación castreña prerromana y romana en las cuencas del Noceda y Boeza", *Estudios Bercianos*, 23, 5 ss.

ASTURES, (1995): *Astures. Pueblos y culturas en la frontera del Imperio Romano. Catálogo Exposición*, Gijón.

CELIS, J., (1996): "Origen, desarrollo y cambio en La Edad del Hierro de las tierras leonesas", *Arqueo León. Historia de León a través de la arqueología*, León, 41 ss.

DOMERGUE, C., (1986): "Dix-huit ans de recherche (1968-1986) sur les mines d'or romaines du nord-ouest de la Péninsule Ibérique", *Actas del I congreso internacional Astorga romana*, II, 7 ss.

DOMERGUE, C., (1987): *Catalogue des mines et fonderies antiques de la Péninsule Ibérique*, I y II, Madrid.

DOMERGUE, C., (1990): *Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'antiquité romaine*, Roma.

FERNANDEZ-POSSE, M.ª D.; SANCHEZ-PALENCIA, F. J., (1988): *La Corona y El Castro de Corporales II. Campaña de 1983 y prospecciones en la Valderia y la Cabrera (León)*. EAE nº 153. Madrid.

FERNANDEZ-POSSE, M.ª D.; MONTERO, I.; SANCHEZ-PALENCIA, F. J.; ROVIRA, S., (1988): "Espacio y metalurgia en la Cultura Castreña: la Zona Arqueológica de Las Médulas" *Trabajos de Prehistoria*, 50, 197-220.

HERAIL, G.; PEREZ GARCIA, L. C., (1989): "Interêt archéologique d'une étude géomorpho-litologique: les gisements d'or alluvial du nord-ouest de l'Espagne" *Minería y Metalurgia en*

las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas. Coloquio Internacional Asociado (Madrid, 24-25 Octubre, 1985), Madrid, II, 21-34.

PEREA, A.; Y SANCHEZ-PALENCIA, F. J., (1995): *Arqueología del oro astur. Orfebrería y minería*, Oviedo.

PEREZ GARCIA, L. C.; SANCHEZ-PALENCIA, F. J., (1992): "Los yacimientos de oro de Las Médulas de Carucedo (León)" en J. García Guinea y J. Martínez Frías (coord.) *Recursos Minerales de España*. Madrid, 861-873.

PEREZ OUTEIRIÑO, B., (1989): "Orfebrería Castreña" en *El oro en la España prerromana*, Revista de Arqueología (número monográfico). Madrid, 90-107.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J. Y OTROS, (1996): *La zona arqueológica de Las Médulas (León). Guía Arqueológica*. Salamanca.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J.; OREJAS, A., (1994): "La minería de oro del Noroeste peninsular. Tecnología, organización y poblamiento", en D. Vaquerizo Gil (coord.), *Minería y metalurgia de la España prerromana y romana*, Córdoba, 147-233.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J.; PEREZ, L. C., (1989): "Los yacimientos auríferos de la Península Ibérica. Posibilidades de explotación en la Antigüedad" en *El oro en la España prerromana*, Revista de Arqueología (número monográfico). Madrid, 16-23.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J.; FERNANDEZ-POSSE, M.ª D., (1998): "El beneficio del oro por las comunidades prerromanas del noroeste peninsular" en G. Delibes de Castro (coord.) *Minerales y metales en la Prehistoria reciente. Algunos testimonios de su explotación y laboreo en la Península Ibérica*, St. Arch. 88, Valladolid, 227-246

SASTRE, I., (1998): *Formas de dependencia social en el noroeste peninsular. Transición de mundo prerromano al romano y época altoimperial*, Ponferrada.

TRANOY, A. (1981): *La Galice Romaine*, París.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

MINERIA HISTORICA

ESTUDIO ARQUEOLOGICO
DEL COMPLEJO MINERO ROMANO DE BOINAS,
BELMONTE DE MIRANDA (ASTURIAS).

Por A. VILLA VALDES

R E S U M E N

La reciente puesta en marcha de las minas auríferas de Belmonte de Miranda (Asturias), localizadas sobre antiguas explotaciones de época romana ha exigido la realización de un pormenorizado inventario arqueológico previo a la excavación selectiva de alguno de estos elementos y el seguimiento continuo de los trabajos de desmonte. Los resultados obtenidos hasta el momento son presentados aquí en función de la interpretación geológica del yacimiento, el estudio de los materiales arqueológicos recuperados y las dataciones radiocarbónicas asociadas. Datos inéditos algunos de los cuales enriquecen y matizan un modelo perfilado cada día con mayor precisión, mientras que otros, sin embargo, incorporan al debate noticias originales que podrían invitar al replanteamiento de cuestiones ampliamente aceptadas en el ámbito de la investigación arqueológica de la minería aurífera en el NO de la Península Ibérica.

Palabras clave: Arqueología, Minería romana, Río Narcea Gold Mines S.A., Boinás (Asturias, España).

A B S T R A C T

The recent starting of gold mines of Belmonte de Miranda (Asturias), located on-above old exploitations of roman epoch, has demanded a detaild archaeologist inventory before to the selective excavations of some of these elements and the continous pursuit of to level works. Obtained outcomes are showed here according to geologic interpretation of this deposit, study or archaeologist materials and radiocarbonic associated dates. Unknown facts, some of whom enrich and tinge a model shaped every day with a more precision, while another, however, give to the debate original information that could invited to a reconsideration extensively accepted matters in the world of archaeologist investigation of gold mining en the N.W. of Iberian Peninsula.

Key words: Archaeology, Roman mining, Río Narcea Gold Mines S.A, Boinás (Asturias, España).

1. PRESENTACION

En 1994 la empresa minera Río Narcea Gold Mines S.A., siguiendo las prescripciones señaladas por la Consejería de Cultura del Principado de Asturias, procede a la contratación del gabinete de Arqueología "Prospectiva y Análisis" para la realización de los trabajos de catalogación, seguimiento y control de las actividades relacionadas con la puesta en explotación de los yacimientos auríferos de Boinás y El Valle en Belmonte de Miranda (Asturias).

El equipo arqueológico redactó a tal fin un ambi-

cioso proyecto de intervención con el que se pretendía abordar el conocimiento del patrimonio histórico de interés y previsible afección, con plazos temporales suficientes para adoptar las medidas correctoras oportunas¹. Dada la naturaleza de la empresa y las características históricas del territorio tratado, la documentación y estudio de los testimonios del laboreo minero desarrollado en época antigua tomaron desde el comienzo un protagonismo evidente. Fueron así propuestos

(¹) El contenido de este proyecto fue dado a conocer durante la 1ª Sesión científica sobre patrimonio minero metalúrgico, celebrada en Almadén en 1996 (VILLA, 1997).

una serie de objetivos que pronto superaron sensiblemente las exigencias transmitidas por la administración autonómica de cultura. Se pretendía rentabilizar en términos de investigación arqueológica los medios y experiencia propios de una compañía minera como Río Narcea Gold Mines S.A. y, en la medida de lo posible, compensar la pérdida de perfiles y paisajes arqueológicos más o menos originales con documentación científica precisa tanto en términos descriptivos como analíticos.

2. DESCRIPCION GEOLOGICA DEL YACIMIENTO

El yacimiento minero de El Valle se localiza en el extremo oriental del denominado *Cinturón del Río Narcea*, franja con importante mineralización de oro que se extiende a lo largo de unos 45 Km. y aproximadamente 1 Km. de ancho. Un complejo sistema de fracturas constituye la estructura dominante de la banda mineralizada. En torno al lugar del Valle se han identificado cinco zonas de mineralización que determinan un único sistema de unos 2 Km. de longitud. En su mayor parte, en torno al 80 %, el oro está asociado a zonas oxidadas con brechas jasperioides y skarns oxidados. La geometría de las zonas mineralizadas demuestra que la litología existente ha sido afectada al menos por dos fases de mineralización epitermal de consecuencias fundamentales (MARTIN-IZARD y otros, 1997, 662), dando lugar a un proceso del que ha derivado la formación de jasperioides por silicificación de rocas carbonatadas (caracterizados por Au, Sb y Hg) y jasperioides cuya génesis se encuentra en la silicificación de skarn previamente mineralizado (caracterizados por Au, Ag, Cu, Bi, As, Sb y Hg). Con posterioridad a estas dos fases tuvo lugar una importante fracturación que dio origen a la formación de brechas post-mineral, las cuales llevan asociadas, en algunos casos, mineralización de metales básicos.

Esta brechificación tardía ha favorecido la circulación de aguas meteóricas hasta grandes profundidades que ha producido una intensa oxidación y argilitización del mineral, circunstancia esencial para el reconocimiento, laboreo y beneficio minero de algunas zonas del yacimiento en época antigua.

3. DESCRIPCION ARQUEOLOGICA

Los testimonios de la intensa actividad minera, desarrollada en torno al lugar de Boinás durante la antigüedad, pueden aún hoy ser localizados con cierta frecuencia sobre un territorio cuyo relieve ha sido modelado en buena parte por la mano del hombre. Su identificación no siempre resulta sencilla. Las técnicas utilizadas por aquellos mineros en el necesario desmonte y arrastre de las masas rocosas reproducían, en ocasiones, la acción de los agentes erosivos naturales intensificando su potencia y concentrando su esfuerzo sobre los puntos de interés. Como resultado, algunas de estas explotaciones ofrecen un aspecto muy semejante al de cualquier accidente orográfico común, mimetismo acentuado además durante los casi 2.000 años transcurridos desde su abandono. Por fortuna, los enclaves mineros suelen aportar otros indicios que revelan, de manera inequívoca, su origen antrópico. Tal es el caso de las minas de Boinás, donde concurren sobre un mismo espacio elementos residuales de una intensa actividad metalúrgica, trabajos de interior reactivados en épocas más recientes o tramos parcialmente conservados de la compleja infraestructura hidráulica auxiliar tan representativa de este tipo de industria. En algunos casos estos elementos adquieren tal protagonismo sobre el paisaje que de su presencia derivan buen número de topónimos locales de inestimable interés para el arqueólogo en su trabajo de prospección, reconocimiento e interpretación del territorio (Las Escorias, El Fondín, Alto de la Cueva, La Llaguna, etc.).

El conjunto minero de Boinás comprende varias labores antiguas localizadas entre esta población y la de Begega en su límite septentrional². Los trabajos se extienden sobre una superficie aproximada de 100 Ha que comprende tres núcleos principales de explotación, un centro metalúrgico y un pequeño castro vinculado probablemente con el beneficio de la mina.

3.1. Las explotaciones

Las tareas extractivas se distribuyen básicamente

⁽²⁾ Referidas por SANCHEZ-PALENCIA y SUAREZ como "Nr. 42: Begega. El Valle" y "Nr. 43: Peña Aguda. Boinás" (SANCHEZ-PALENCIA y SUAREZ, 1985, p.238).

en torno a tres núcleos a los que se hará referencia como El Valle, Boinás Oeste y Boinás Este, denominación también utilizada para designar los yacimientos auríferos explotados en la actualidad por Río Narcea Gold Mines y entre los cuales se produce una significativa superposición (Lám.1).

El Valle

El beneficio minero se concentró de forma particular en torno al tramo inicial del valle, en el nacimiento del arroyo del Regueral, bajo el arranque de la hombrera donde se asienta el pueblo de Begega. A lo largo de unos 500 m., distribuidos entre las cotas 525 y 625, pueden observarse, especialmente sobre la ladera oriental y fondo de valle los efectos que la excavación y arrastre de tierras originaron sobre su topografía original. Al menos cinco amplias conchas y una trinchera se abren hacia el cauce del arroyo, donde la acumulación de estériles ha dado lugar a la formación de un pequeño dique. Al igual que en Boinás Oeste su justificación geológica se encuentra en las varias brechas silicificadas aflorantes como consecuencia del intenso y tardío proceso de fracturación sufrido por el skarn mineralizado en fases anteriores (Lámina. 2).

Boinás Oeste

Las evidencias de laboreo minero antiguo reconocidas en este área presentan una morfología sencilla de suave depresión modelada a modo de concha y repetida varias veces sobre la ladera entre las cotas 325 y 525. Se han observado también trabajos de reexcavación y ensanche sobre el cauce del arroyo conocido como *La Cárcaba*. La presencia de afloramientos puntuales de skarn oxidado en pequeñas brechas originadas según el proceso descrito con anterioridad justificarían la realización de estos trabajos. Sin embargo es posible que el planteamiento que animó alguna de estas labores haya podido ser mucho más complejo y ambicioso que el inicialmente supuesto. Eso parece indicar la aparición de un corto tramo de galería, excavado sobre materiales calcáreos terciarios. Se trata en realidad de la ampliación intencionada de una angosta grieta de acuerdo a los modelos clásicos de galerías y túneles mineros utilizados en época romana y

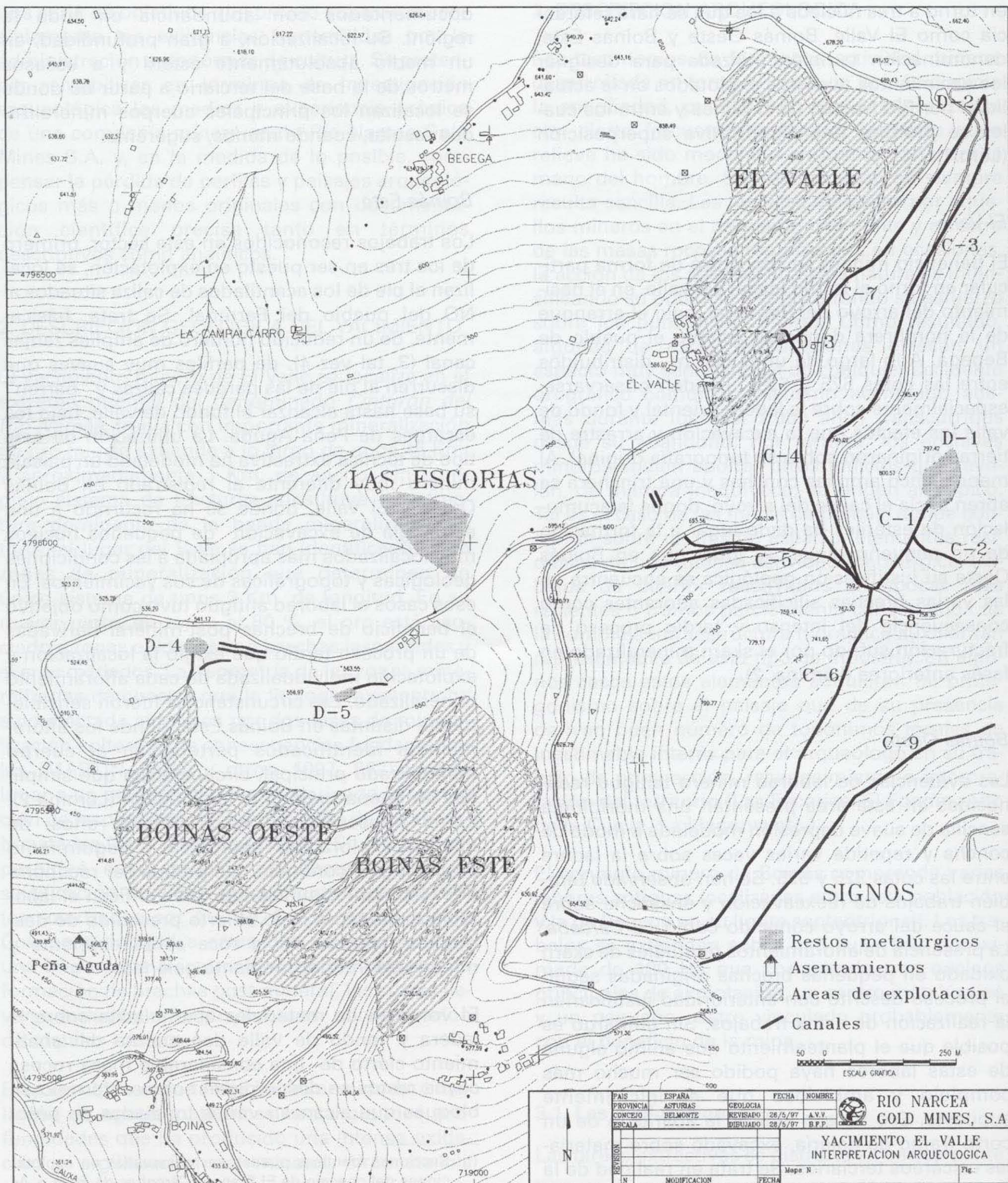
documentados con abundancia en toda la región³. Su localización, a gran profundidad, en un medio absolutamente estéril y a escasos metros de la base del terciario a partir de donde se localizan los principales cuerpos mineralizados resulta, cuando menos, sugerente.

Boinás Este

Los trabajos reconocidos en este sector, primero de los tres en ser puesto en explotación, se localizan al pie de los acantilados de caliza situados al NO del pueblo del Ferredal. Se trata, básicamente, de un reducido número de amplias zanjas canal (3, tal vez 4), de perfiles muy suaves que discurren al pie de las paredes calizas y "barren" su base hasta alcanzar el fondo de valle, bajo los escarpes de Peña Aguda. La utilización de este tipo de técnica extractiva ha modelado un paisaje minero muy diferente al registrado en Boinás Oeste y El Valle, donde se ha recurrido a una estrategia de excavación de pequeños núcleos muy localizados más apropiada a las condiciones geológicas y topográficas de sus yacimientos. En esos casos el laboreo antiguo tuvo como objetivo el beneficio de brechas post-mineral derivadas de un proceso tardío que exigió la localización y explotación individualizada de cada afloramiento mineralizado. Las circunstancias fueron sensiblemente distintas en Boinás Este, donde los afloramientos identificados pertenecían al cuerpo mineralizado principal, circunstancia que simplificó en buena medida la explotación (Lámina 2). En el transcurso de estos últimos años, de intensa exploración geológica y seguimiento arqueológico continuo, han podido ser recuperados testimonios suficientes que verifican el laboreo simultáneo a cielo abierto precedido de desmontes masivos de la roca caliza cubriente y minería de interior mediante galerías.

El volumen de materiales acumulados sobre la ladera y fondo de valle dan cuenta del abatimiento cierto de una considerable masa rocosa cuyos restos se desperdigan sobre el terreno en bloques que alcanzan varias toneladas de peso.

⁽³⁾ Secciones idénticas pueden ser observadas en explotaciones del concejo de El Franco (*Cárcobas de Pena o As Trabúas*), de Illano (*Xío*), Belmonte de Miranda (*El Valle*), o en conducciones subterráneas como las que abastecen la mina de *Valabilleiro* en Grandas de Salime.



LAMINA 1.

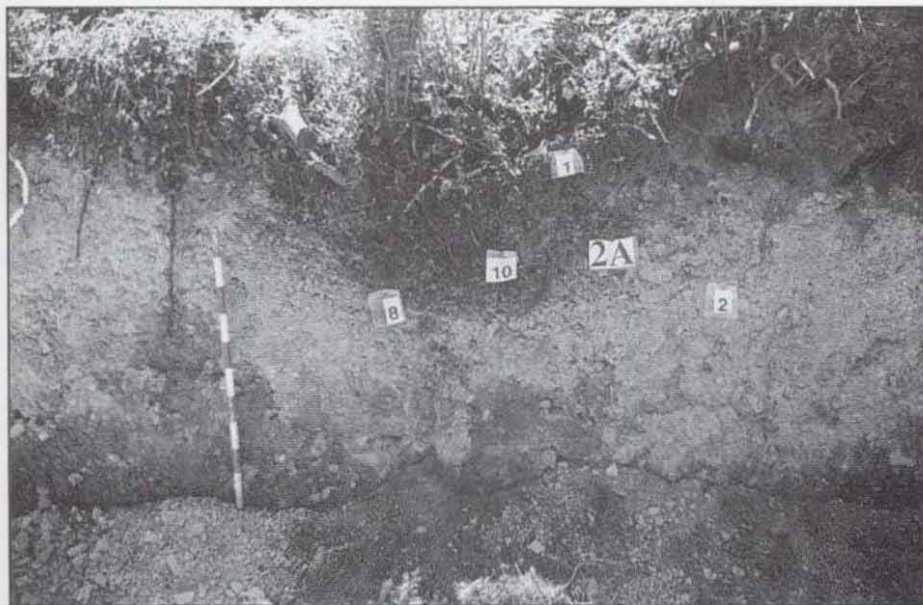


Foto 1. (152/6). El Valle. Hasta los frentes de explotación alcanzaban canales de sección similar al representado en la imagen, de factura muy simple y morfología repetida sin grandes variaciones en la totalidad de los casos documentados. A. Villa.



Foto 2. (124/27 A). Boinás Este. El acceso al cuerpo mineralizado se realizó mediante el retroceso de la más rocosa caliza y la excavación de amplias zanjas-canal que recorrían la base del frente de explotación. A. Villa.

Su desmantelamiento despejó el acceso al mineral ofreciendo así la posibilidad de extracción directa en superficie.

Los datos disponibles acerca del laboreo subterráneo aunque relativamente frecuentes eran mucho más imprecisos: galerías de corto desarrollo y vaciados muy localizados. En todo caso informaciones siempre referidas a pequeñas labores de extensión muy limitada y cronología incierta. Esta situación se ha visto modificada de forma sustancial tras los hallazgos producidos en los últimos meses que apuntan la existencia de un sistema de explotación mucho más complejo que el inicialmente supuesto.

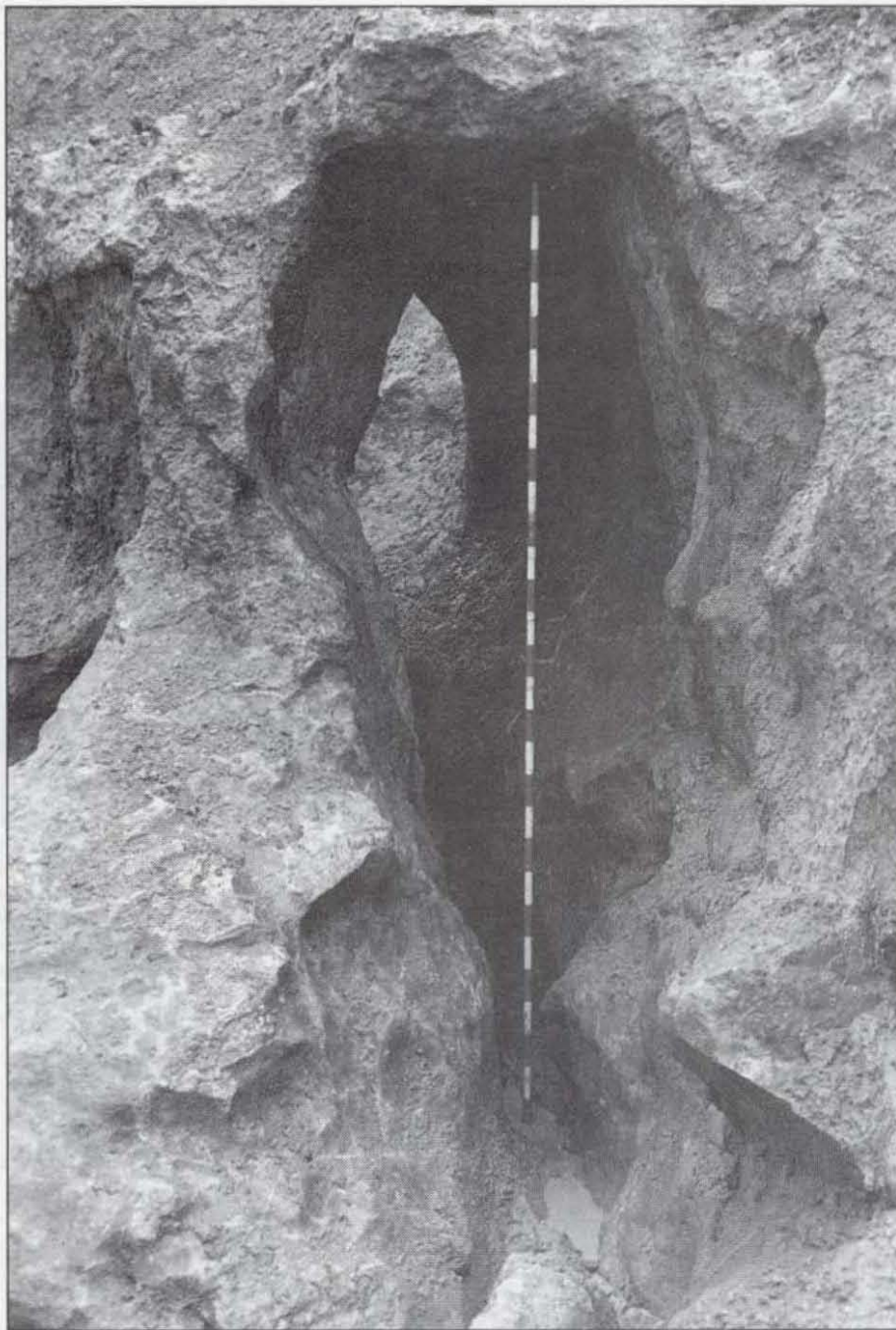


Foto 3. (185/8). Galería localizada durante los desmontes en el frente de Boinás Oeste. Parece tratarse de ampliación y regularización voluntaria de una grieta natural. A. Menéndez.

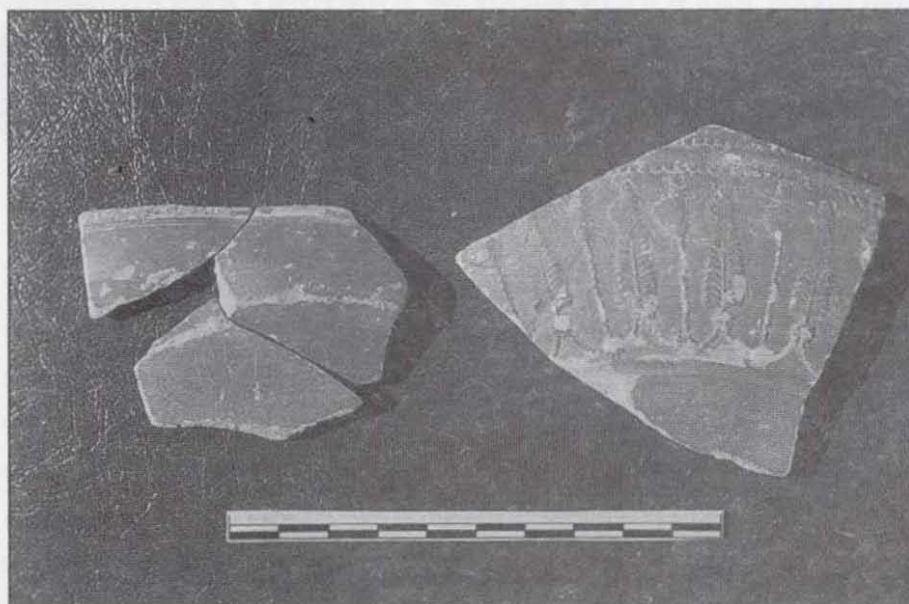
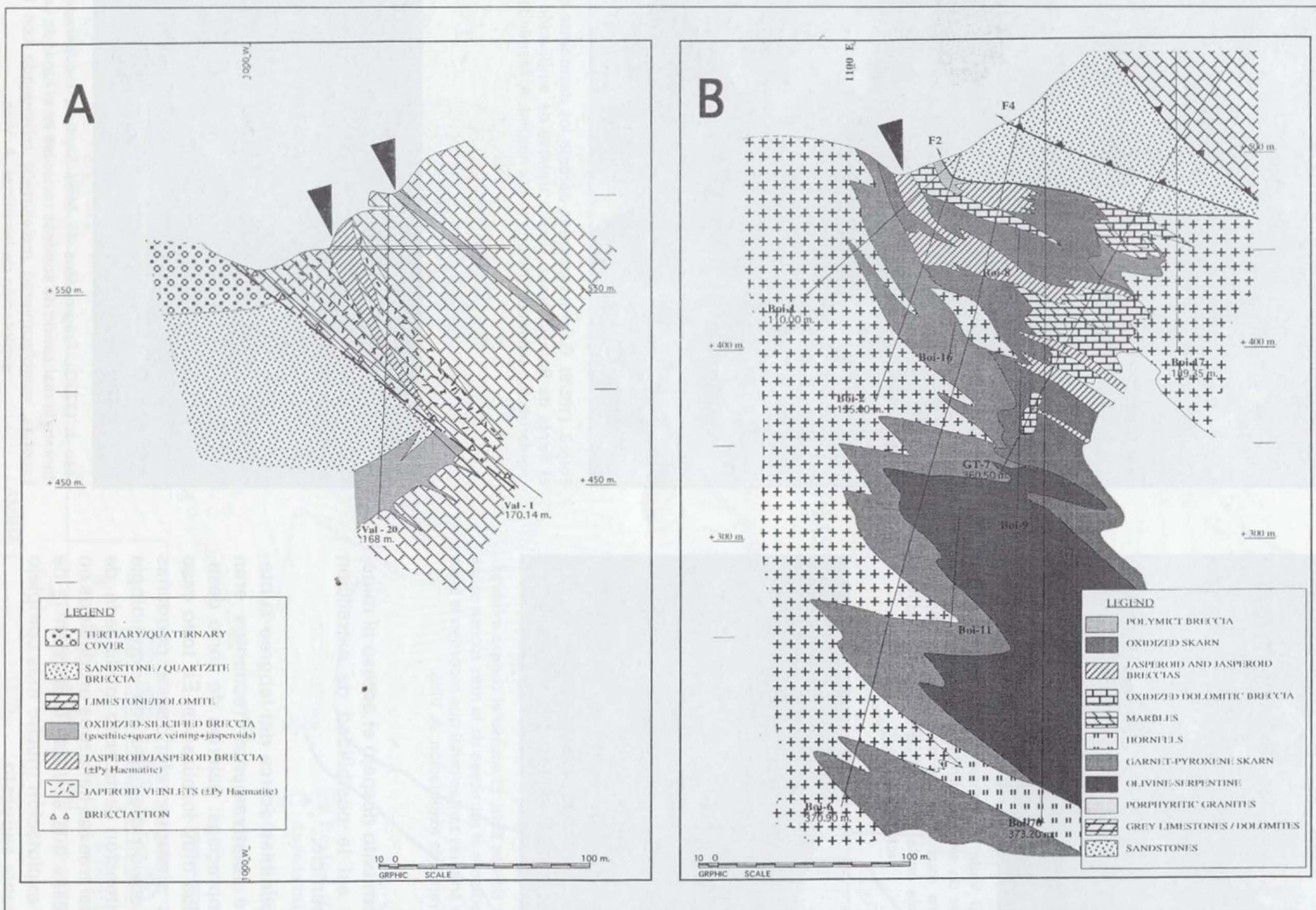


Foto 4. (229/2). Fragmentos de Terra Sigillata recuperados durante la realización de sondeos recientes en el lugar de Las Escorias, establecimiento metalúrgico relacionado con la explotación de las minas. A. Villa.



LAMINA 2. Los tipos de afloramiento beneficiado en las minas de Boinás han condicionado modos de explotación sensiblemente diferentes. En el sector de El Valle (A), estrechas y discontinuas brechas de falla identificables en superficie fueron explotadas mediante excavaciones localizadas que han determinado un relieve dominado por la sucesión de conchas irregulares distribuidas sobre la ladera de la sierra. En el sector de Boinás Este, el acceso al cuerpo mineralizado se produjo de forma masiva tras el desmantelamiento de las calizas cubrientes y apertura de varias zanjas canal.

En marzo de 1996, durante la recuperación del testigo correspondiente al sondeo BOI-60, son localizados algunos fragmentos de madera situados en torno a los 19 metros de profundidad. Desde abril del mismo año hasta febrero de 1997 se repiten hasta cinco hallazgos de la misma naturaleza en los sondeos BOI-65 y BOI-97. Las muestras fueron localizadas sistemáticamente en contextos geológicos significativos y a cotas bajo la superficie comprendidas entre los 13 y los 50 metros. Según los datos disponibles, los restos de madera identificados se distribuían siempre en relación directa con el skarn oxidado, en unos casos dentro del propio cuerpo mineralizado (BOI-97), en otros sobre las zonas de contacto con brechas polimícticas de oxidación intensa, ricas en goetitas, jaspes y ocasionalmente cobre nativo (BOI-60, BOI-65).

En consecuencia, si como parecían demostrar los estudios geológicos, existían razones que justificaban la realización de labores subterráneas en los puntos donde fueron recuperados los restos orgánicos, no parecía descabellado albergar la esperanza de localizar bajo las explotaciones abiertas en superficie trabajos de época romana de cierta envergadura. A falta de otras referencias cronológicas, fueron encargados los pertinentes análisis radiocarbónicos de las muestras seleccionadas. Su procesamiento, positivo para los cinco casos, aportó resultados satisfactorios y, sin duda, sorprendentes (Ver cuadro).

3.2. Red hidráulica auxiliar

El caudal de agua exigido en el antiguo laboreo de las minas representaba un factor fundamental en el desarrollo adecuado de las tareas de desmonte, arrastre y lavado de los materiales abatidos. Para asegurar el suministro suficiente fue diseñada una compleja red hidráulica auxiliar con captación de recursos en las cotas más elevadas, excavación de depósitos (*piscinae* o *stagna*), canales de distribución (*corrugi*) y canales de explotación (*emissaria*).

Las minas de Boinás fueron abastecidas a partir de tres puntos de captación diferentes con los que se estableció, en función de la proximidad y capacidad de suministro, un grado de dependencia variable. El resultado ha sido la definición de

REFERENCIA	PROCEDECENCIA	COTA	EDAD C-14	EDAD CALIBRADA
CSIC-1230	Sondeo BOI-97 (69,65-73,65 m)	-34 m.	2177±39	Cal BC 366-101
CSIC-1340	Sondeo BOI-65 (17,20-17,50 m)	-17 m.	2102±26	Cal BC 178-45
CSIC-1341	Escorial ESC-1	-01 m.	2045±26	Cal BC 112-cal AD 52
CSIC-1338	Sondeo BOI-65 (13,00-13,75 m)	-13 m.	2031±27	Cal BC 92-cal AD 59
CSIC-1339	Sondeo BOI-60 (17,65-21,95 m)	-13 m.	2015±26	Cal BC 48-cal AD 64
CSIC-1343	Sondeo BOI-97 (92,80-96,40 m)	-50 m.	1903±28	Cal AD 65-213

CUADRO: Edades calibradas con el programa 3.03 de la Universidad de Whashington, curva bidecadal, método B, en los laboratorios del Instituto de Física Química Rocasolano de Madrid, bajo la supervisión del Doctor Fernán Alonso.

una red hidráulica jerarquizada que contaba, en el paraje conocido por *Alto de la Cueva*, con el principal complejo de contención y distribución hidráulica del conjunto minero. En este lugar se localiza el depósito capital⁴ del cual se nutren las canalizaciones básicas de distribución (C-1, C-2, C-3, C-4, C-5 y C-6) a las cuales se subordinan el resto de conducciones catalogadas. Otras vías de alimentación proceden del Norte, desde el collado inmediato cuya ladera occidental es sangrada por tres canales que conducen su caudal hasta el remanso donde se produce el encuentro con C-3. En este lugar debió localizarse un pequeño depósito (D-2) del que parte un nuevo canal (C-7) que desemboca sus aguas, finalmente, en el depósito situado sobre las explotaciones de El Valle (D-3). Pequeñas canalizaciones completan la red en este sector a partir de derivaciones menores procedentes de C-5 y que han podido ser reconocidas de forma fragmentaria.

Mucho más complicado ha resultado intentar reconstruir la trama de abastecimiento en los sectores Boinás Este y Boinás Oeste. Ambos comparten con El Valle su dependencia del caudal procedente del Alto de la Cueva, canalizado mediante sendas conducciones que salvan el espolón bajo el cual se abren las explotaciones rodeando su cumbre por las vertientes Norte

(⁴) Es posible que su contenido pudiese estar ocasionalmente regulado por otro pequeño depósito auxiliar situado en cotas algo más elevadas.

(C-5 y derivados) y Este (C-6). Es posible que existiesen aportes menores procedentes de la Sierra del Arcello, canalizaciones recurrentemente citadas en la bibliografía aunque de tan incierto trazado como de discutible relevancia en el conjunto de las minas (C-8 y C-9).

Depósitos de capacidad muy variable recogían sobre los frentes mineros las aguas procedentes de la montaña, reconduciendo el caudal hacia los frentes de laboreo. Al menos dos de estas estructuras han sido reconocidas sobre el sector occidental de Boinás (D-4 y D-5).

El seguimiento y excavación de los tramos considerados más significativos de las canalizaciones afectadas por la explotación moderna ha ofrecido unos resultados muy similares en la totalidad de intervenciones. Su estratigrafía, simple y monótona, ha mostrado estructuras de factura muy sencilla consistentes en la excavación sobre materiales terciarios de una pequeña cubeta, con sección semicircular, ligeramente cubierta en su base de material arcilloso y colmatada de tierra vegetal hasta su nivelación con el resto del terreno.

Centro Metalúrgico de "Las Escorias"

Situadas en el centro geográfico del conjunto minero se extienden las fincas denominadas *Las Escorias*. Sobre la superficie, algo inferior a 1 hectárea, afloran llamativamente los restos de fundición que justifican su topónimo. Aunque por el momento tan sólo se han realizados algunos sondeos muy localizados, su exploración ha aportado ya datos de gran interés⁵.

(⁵) En principio, el equipo investigador se mostró partidario de asignar al yacimiento cronologías más modernas que las supuestas para las explotaciones auríferas vecinas, posibilidad avalada por una actividad minera que aunque esporádica, se mantuvo vigente hasta mediados del presente siglo. Por esta razón se solicitó de D. José Avelino Gutiérrez González, profesor titular de la Universidad de Oviedo y de contrastada experiencia en el ámbito de la metalurgia medieval, un proyecto de excavación arqueológica finalmente no emprendido al verificarse la cronología altoimperial de los restos. Conste el agradecimiento del autor al profesor Gutiérrez González por su gentil colaboración en el reconocimiento y certera valoración del yacimiento.

El equipo de arqueólogos ha excavado unos 100 m² donde han podido ser reconocidas algunas paredes, potentes niveles de escorias sobre superficies sometidas a la intensa acción del fuego y canalizaciones asociadas. Si bien es cierto que las reducidas dimensiones del espacio descubierto no permiten alcanzar una comprensión fiable del establecimiento, esta carencia transitoria⁶ se ve compensada con la aparición de materiales que, aunque recuperados en número muy reducido, poseen gran significación arqueológica. Se trata de productos cerámicos y vítreos genuinamente romanos. Entre ellos, dos piezas resultan de singular importancia al haber sido posible la reconstrucción parcial de sus perfiles:

a. Fragmento correspondiente al galbo de *Terra Sigillata Galica* forma Drag. 29 A, con decoración en guirnalda.

Esta pieza presenta la división en dos zonas por medio de un baquetón, a cuyos lados, superior e inferior se distribuyen dos líneas de perlitas y que constituye, en opinión de M. A. MEZQUIRIZ, un elemento indispensable en la forma 29 gálica y suficiente para determinar su clasificación (MEZQUIRIZ, 1961, 88 y ss.). La producción de este tipo de piezas se mantiene durante la primera mitad del siglo I d.C. (BELTRAN, 1990, 89).

b. Fragmentos correspondientes al borde y fondo de *Terra Sigillata Galica* forma Drag 18.

Esta pieza, procedente del taller de Montans, pertenece a un tipo de recipientes que se popularizaron a partir de los últimos años de mandato de Tiberio y cuya producción se prolongará en tiempos de los emperadores Claudio y Nerón (BELTRAN, 1990, 90).

Por tanto, parece justificado afirmar que estas instalaciones metalúrgicas se encontraban a pleno rendimiento en fechas muy próximas al año 50 d.C. Asignación cronológica que refrenda la datación procesada y calibrada en los laboratorios del Instituto Rocasolano para la muestra de madera obtenida sobre la superficie en que se descubrieron las cerámicas: CSIC-1341 Cal. BC 112- Cal. AD 52

(⁶) Estas fincas han sido liberadas de toda afección con el fin de favorecer su completa excavación en fechas venideras.

3.3. Poblados

Varias referencias toponímicas sugerían al inicio de las actividades arqueológicas en el proyecto Boinás, la posible existencia de núcleos de población asociados a la explotación de las minas en época antigua. Eran estos los lugares de Peña Aguda y El Castiello, ambos en Boinás y el barrio de El Castro, en el pueblo de El Valle. Los sondeos abiertos sobre el Castiello y El Castro pusieron de manifiesto la inexistencia de restos arqueológicos en ninguno de los dos parajes⁷. Por tanto, las evidencias de poblados quedan limitadas, en términos de máxima proximidad, al asentamiento de Peña Aguda, pequeño castro del que por el momento no se posee referencia arqueológica alguna.

4. CONCLUSIONES

Si bien es cierto que las intervenciones arqueológicas emprendidas sobre las antiguas minas de Boinás han comenzado a aportar nuevos datos de indiscutible interés para los investigadores, no lo es menos que el desarrollo aún parcial del proyecto, tributario en parte de estudios pluridisciplinarios en curso y, por consiguiente, abierto a modificaciones, aconseja manejar con prudencia los resultados obtenidos. Algunas de estas novedades enriquecen y matizan un modelo perfilado cada día con mayor precisión, sin embargo, otros incorporan al debate noticias originales que podrían invitar al replanteamiento de cuestiones ampliamente aceptadas en el ámbito de la investigación arqueológica de la minería aurífera en el NO de la Península Ibérica.

En principio, casi todo lo relacionado con la experiencia emprendida en las minas de Boinás resulta novedoso. Hasta la fecha, las escasas intervenciones documentadas sobre yacimientos o restos arqueológicos vinculados con las explotaciones mineras en Asturias fueron dirigidas hacia ámbitos muy restringidos del fenómeno y siempre con carácter puntual o de urgencia⁸. Por tanto, el estudio global y simultáneo de las explotaciones y sus elementos asociados constituía en sí mismo una importante novedad.

(⁷) VILLA VALDES, A. (1997, en prensa)

(⁸) CAMINO MAYOR, J. (1995 b)

Al día de hoy existen referencias suficientes para poder defender que las minas de Boinás constituyeron un proyecto pensado y planificado para ser explotado como unidad, con independencia de la multiplicidad de frentes seleccionados para el beneficio. Varias circunstancias avalan esta hipótesis:

a. Red hidráulica auxiliar compartida sin recurrir a yuxtaposición, bloqueo o inutilización de elementos necesarios en otros sectores.

b. Selección de un espacio de tratamiento metalúrgico equidistante de los puntos de obtención del mineral.

c. Desarrollo gradual y simultáneo de los diversos frentes de explotación.

Todo parece indicar que las minas de Boinás se encontraban a pleno rendimiento hacia mediados del siglo I d.C. Por estas fechas la corta de Boinás Este alcanzaría su mayor desarrollo, se habrían iniciado importantes labores sobre el frente de El Valle y los trabajos en Boinás Oeste se encontrarían aún en una fase temprana de explotación. Las dataciones procedentes de Las Escorias (CSIC-1341) y de las galerías localizadas mediante sondeos (CSIC-1338, CSIC-1339, CSIC-1343) confirman un entorno cronológico próximo al propuesto, en torno al año de 50 de la Era, y perfectamente aceptable para el epígrafe localizado en las proximidades del yacimiento donde se hace mención al *castellum* (□) *augubrigense*⁹. Ahora bien, si se admite este horizonte temporal tan temprano para un momento en el que las labores mineras de Boinás se encontraban a pleno rendimiento ¿cuándo dio comienzo la explotación de estas minas?

Se estima que en el norte de la meseta fueron necesarios casi cuatro lustros, tras la conclusión de las guerras de conquista para conseguir las condiciones administrativas y laborales que garantizasen una óptima explotación de los yacimientos minerales. Así durante la primera década del siglo I d.C. Roma beneficiaba ya algunas de las grandes minas de la región de Astorga (SANCHEZ-PALENCIA y otros, 1996, 47). Si se aplica un calendario ligeramente retardado para los territorios trasmontanos, donde aún debía ser

(⁹) MIER FERNANDEZ, M. (1995)

organizado el complejo sistema de infraestructuras elementales indispensables para la puesta en marcha de la actividad minera, veinte años parece un margen razonable de retraso para fijar el comienzo de la explotación por Roma de las minas a este otro lado de la cordillera.

Existe no obstante un punto de especial interés que debe ser considerado con atención. En términos generales, los investigadores mantienen la opinión de que las poblaciones prerromanas practicaron el beneficio aurífero exclusivamente mediante la técnica de bateo¹⁰ desconociendo la minería a gran escala y su explotación de forma regular (SANCHEZ-PALENCIA y otros, 1996, 46). Las excavaciones arqueológicas desarrolladas durante los últimos años han puesto de manifiesto la validez general de esta teoría. Entonces, ¿Cómo deben interpretarse los resultados obtenidos en al menos dos de las muestras recuperadas en viejas galerías de Boinás?. Los análisis apuntan fechas muy anteriores a la conquista que los sitúan en torno al siglo II a.C., su contexto geológico se encuentra indiscutiblemente ligado a materiales potencialmente explotables y su presencia a esas profundidades no parece justificarse más que como resultado de un audaz e inteligente trabajo minero. Estos datos podrían significar, de confirmarse la naturaleza de los restos, la práctica de algunas formas de minería compleja por parte de poblaciones indígenas y, por tanto, su capacidad para el reconocimiento de yacimientos susceptibles de beneficio. Roma habría encontrado en estas labores el mejor de los indicios para abrir sus primeras explotaciones en Asturias y tal vez la mano de obra experimentada para extender la búsqueda del preciado metal a otras regiones.

REFERENCIAS

BELTRAN LLORIS, M. (1990): *Guía de la cerámica romana*. Zaragoza.

⁽¹⁰⁾ Argumentos diversos de tipo filológico o experimental justifican esta posición: procedencia del mineral, composición metálica de los hallazgos, distribución geográfica de los mismos, etc. (SANCHEZ-PALENCIA 1983, 32).

CAMINO MAYOR, J. (1995): *El honor del paisaje. Arqueología y Medio Rural en Asturias*. Consejería de Agricultura del Principado de Asturias. Oviedo.

CAMINO, J. y VINIEGRA, Y. (1993): "Aproximación a la minería aurífera y al poblamiento castreño de la cuenca baja del río Eo en Asturias". *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, LIX. Valladolid; pp.141-153.

DOMERGUE, C. (1987): *Catalogue des mines et des fonderies antiques de la Péninsule Ibérique* Tomo II. Casa de Velazquez Serie Archeologie VIII. Madrid.

FERNANDEZ MIER, M. (1995): "Epígrafes con \supset en Asturias". *VI Congreso Internacional de estelas funerarias. Cuadernos de Etnología y Etnografía de Navarra*, n° 66. Pamplona.

MARTIN-IZARD, A.; CEPEDAL, M. A. y otros (1997): "The El Valle deposit: an example of porphyry-related copper-gold skarn mineralization overprinted by late epithermal events, Cantabrian Mountains, Spain. *Mineral Deposit: Reserch and Exploration. Where do they meet?. Proceedings of the 4th Biennial Society for Geology Applied Meeting*, p. 659-662. Turku, Finland.

MEZQUIRIZ DE CATALAN, M. A. (1961): *Terra Sigillata Hispánica*. The William Bryant Foundation. Valencia.

PEREIRA MENUAT, G. (1978): "Caelo Cadraiclonis F. Cilenus \supset Berisamo et al. Centuria or Castellum. A discussion", *Hispania Antiqua* VIII.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J. (1983): "La explotación prerromana del oro del noroeste de la Península Ibérica" en *Boletín Auriense* Año XIII, Tomo XIII. Orense.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J. y SUAREZ, V. (1985): "La minería antigua del oro en Asturias", en *El Libro de la Mina*, pp. 221-241. Vitoria.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J. (1995): "Arqueominería del oro: el noroeste peninsular", *Arqueología e Historia de la minería y metalurgia*", pp. 87-106. Madrid.

SANCHEZ-PALENCIA, F. J., OREJAS, A., FERNANDEZ-POSSE, M. D. y MANZANO, J. (1996): *La zona arqueológica de Las Médulas (León)*. León.

VILLA VALDES, A. (1997): "Intervención sobre el Patrimonio Histórico en las minas de oro de Belmonte (Asturias)". *Actas de la 1ª Sesión científica sobre el Patrimonio Minero-Metalúrgico*, pp. 299-304. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Cuenca.

199, c. p.: "Las explotaciones auríferas romanas de "El Valle" (Asturias-España): Un modelo de investigación arqueológica desarrollado en el contexto de la minería moderna". *Símposio sobre Arqueologia industrial: conservación y recuperación del patrimonio minero-metalúrgico en el mundo hispánico*. 49º Congreso Internacional de Americanistas, Quito.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

MINERIA HISTORICA

MINERIA AMERICANA DEL ORO
EN LAS EPOCAS PRECOLOMBINA Y DEL IMPERIO.

Por E. ORCHE(*)

R E S U M E N

Se describen los métodos de explotación del oro vigentes en la América bajo dominio español durante el período prehispánico y del Imperio, basados principalmente en los testimonios escritos de los cronistas españoles de la época.

Palabras clave: Minería, Oro, Prehispánico, Hispanoamérica.

A B S T R A C T

This paper deals with mining of gold that took place in Latin America during Pre-hispanic times, describing briefly techniques, technologies and customs mainly by mean of Spanish chroniclers of the epoch.

Key words: Mining, Gold, Prehispanic, Latinamerica.

1. INTRODUCCION

"El más precioso de los metales, y el más perfecto de quantos cuerpos cria la naturaleza sin anima, es el oro, tan generalmente deseado como conocido de todos. Engéndrase de la materia y modo que queda dicho en común de todos los metales; pero de partes tan perfectamente purificadas, y con tal decocción unidas, que hacen casi incorruptible su sustancia, pues ninguno de los Elementos tiene fuerza para corromperlo o destruirlo" (BARBA, 1640).

La producción de oro en la América precolombina es, posiblemente, una de las actividades prehispánicas que más constantemente se presenta, abarcando un área que cubre desde Méjico hasta Argentina. El oro nativo que dio lugar a tan importante actividad minero-metalúrgica se encuentra con cierta abundancia en Méjico, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile, pero no falta y fue utilizado por los nativos en las Antillas, Guayana, Brasil y Centroamérica. Los focos más importantes fueron las regiones de Loja y

Zamora (Ecuador), Buriticá (Colombia), y además diversos enclaves de Honduras, Panamá y Perú.

De acuerdo con lo que se sabe actualmente, la tradición minero-metalúrgica americana comprende aproximadamente 30 siglos de desarrollo, desde mediados del segundo milenio antes de Cristo hasta los comienzos del siglo XVI de nuestra era.

Las piezas de oro más antiguas conocidas hasta el momento corresponden al año 1500 a.C., y fueron halladas en la región de Andahuaylas, en la zona sur de la Sierra Peruana (PLAZAS y FALCHETTI, 1983). La segunda fecha conocida corresponde aproximadamente al año 800 a.C., también en Perú, y ya se muestra un estilo mucho más elaborado. En Colombia, la fecha más antigua es unos 100 años a.C. En Centroamérica los hallazgos se remontan a unos 300 años d.C. Sin embargo, la gran producción orfebre, tanto en Colombia como en Centroamérica, se registró en la etapa comprendida entre los años 400 d.C., y la llegada de los españoles. Sobre el 700 d.C., se tienen las primeras noticias

(*) Dr. Ingeniero de Minas. Universidad de Vigo.

de piezas de oro originarias de México, apareciendo de forma súbita como provenientes de una industria ya plenamente evolucionada, probablemente importada de los países del sur. Las distintas zonas de orfebrería americanas desarrollaron sus propios estilos y favorecieron ciertas técnicas definidas pero, a pesar de este regionalismo, las distintas áreas no estuvieron aisladas. Por el contrario, varias regiones tuvieron intensas relaciones entre sí y ejercieron influencias unas sobre otras.

La mayor parte de la producción de oro durante la época prehispánica provenía de la explotación de placeres auríferos en los ríos de montaña. La naturaleza de estos yacimientos ha ocasionado, sin embargo, que sólo se tengan referencias históricas sobre ellos, pero ninguna documentación arqueológica. Es así como se sabe por Cieza de León (TRIMBORN, 1949 cit. en ALCINA, 1970) de la existencia de lavaderos de oro en el valle del Cauca (Colombia).

El resto de la producción aurífera procedía de la explotación de filones o vetas de cuarzo.

La presencia de los españoles en el continente americano a partir de finales del siglo XV no supuso cambio sustancial en la selección de los yacimientos auríferos; tan sólo se introdujeron paulatinamente cambios tecnológicos en la metodología extractiva y en el beneficio de las menas.

Es interesante señalar que muchas de las zonas donde se han encontrado hallazgos importantes de orfebrería no son regiones mineras: el oro llegó a ellas como consecuencia de intercambios comerciales, ya que dicho metal en bruto era precisamente un elemento de gran demanda. Esta actividad constituye una tradición arraigada entre los nativos que se remonta al menos al siglo V de nuestra era.

La producción de oro colonial no es comparable con la de plata, mucho mayor. A título de ejemplo, HAMILTON (1983, cit. en CASTILLO y LANG, 1995) estimó las cantidades respectivas que llegaron a Sevilla entre 1603 y 1650, en 181 t y 16.887 t. A pesar de ello, el valor del oro tuvo una gran importancia en la economía hispanoamericana.

Puede decirse que el imperio colonial español en América fue esencialmente un imperio minero y, como tal, a él dedicó la metrópoli sus mejores esfuerzos. Alrededor de la minería, la metalurgia, el transporte y el comercio de los metales preciosos sucedieron las grandes realizaciones y los grandes acontecimientos de la vida colonial (ESPINOSA, 1994).

2. LA MINERÍA PREHISPÁNICA DEL ORO

2.1. Generalidades

Siguiendo a PEREZ (1970), el primero de los grandes tratados geográficos referente a América es la "Geografía y Descripción Universal de las Indias", recopilado por el cronista Juan López de Velasco desde el año 1571 a 1574, utilizando los datos contenidos en las "Relaciones geográficas" que habían llegado a España; sin embargo, no fue publicada hasta 1894.

López de Velasco no estuvo en América, pero dispuso de los elementos necesarios para la elaboración de una obra sumamente interesante, que responde a los conocimientos que del Nuevo Mundo se tenían entre las fechas citadas.

López de Velasco dedica muchos pasajes de su libro a las minas, haciendo notar que se habían hallado en América muchos y muy grandes yacimientos de toda clase de metales, pero fija su atención principalmente en el oro y en la plata, advirtiendo que se han hallado casi todos, o por lo menos la mayoría

"en las vertientes y ramas de las sierras y cordilleras que van corriendo norte-sur a lo luengo de la costa de la mar del Sur, desde encima de la Nueva Galicia hasta el Estrecho de Magallanes y todos casi siempre en las vertientes de la parte de poniente que miran a dicho mar".

Atribuye esta circunstancia a que los metales

"se engendran en las entrañas de la tierra donde ésta es más pura y casi piedra y por la mayor parte, donde la superficie de ella es estéril y pelada, que proviene de la poca humedad, como ocurre allí donde las sierras están más derribadas y descubiertas y peladas, y por estar más levan-

tadas, están más dispuestas para recibir los influjos del cielo y para la generación de los metales".

En cambio, en la otra vertiente de la cordillera, la que mira a oriente,

"desde las provincias de Quito hasta el Estrecho, por ser toda la tierra llana, gruesa y llena de árboles y pantanos, no parece tan dispuesta para criar metales... y así en lo descubierto hasta ahora, del Río de la Plata y del Brasil, no se han llevado muestras de metales ningunos que sean de provecho y que se puedan seguir".

Además, apunta que, entre los hallazgos:

"es más general el oro que la plata en todo lo descubierto... y como es metal suelto que se disuelve fácilmente, desde sus nacimientos corre con las aguas... y así se halla en los ríos, arroyos y quebradas, de donde se aparta con bateas por medio del agua y pocas veces se da un nacimiento dello y minas fijas de donde se saque el metal..."

Las riquezas minerales descritas por López de Velasco en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, obviamente, no pasaron inadvertidas para los pobladores allí asentados antes de la llegada de los españoles; los habitantes de esas regiones mineras, en la época precolombina, descubrieron los yacimientos e idearon métodos eficaces para su explotación y beneficio; en algunas zonas incluso existió minería especializada, que alcanzó un cierto grado de desarrollo y organización.

Dada la importancia de las minas, éstas eran consideradas en ciertos lugares andinos como *huacas* (lugares sagrados), orándose ante ellas, y celebrándose fiestas en su honor, fiestas en las que los mineros danzaban y bebían chicha durante toda la noche.

Los grandes centros mineros auríferos, como Buriticá en Colombia, estaban constituidos por una agrupación de pueblos, cuyos habitantes se dedicaban casi exclusivamente a la actividad extractiva, ya que las zonas mineras andinas generalmente estaban implantadas en terrenos pobres, sin vegetación, y apenas aptos para el cultivo. En ellas, los mineros se proveían de los

artículos que escaseaban o no podían producir, comerciando con el oro.

Las minas eran propiedad particular y no constituían privilegio ni monopolio de los caciques, si bien éstos, al disponer de prestación personal de sus súbditos y de la fuerza de trabajo de sus esclavos, tenían una posición ventajosa y eran los mayores propietarios. En el imperio incaico, sin embargo, el oro era propiedad del Estado, el cual disponía de inspectores para el control de la producción, así como para evitar el hurto del metal.

Vasco Núñez de Balboa, en carta dirigida al Rey de España en el año 1513 (DUQUE, 1982), habla de la riqueza del cacique Dabaibe y de cómo este señor principal adquiriría el oro en una región situada a dos jornadas de sus dominios, en donde existían, según opinión de Balboa, las minas más ricas del mundo; se refiere, seguramente a los yacimientos auríferos de Buriticá.

Los centros mineros constituían núcleos económicos de importancia, y muchos de sus habitantes eran considerados acaudalados por los visitantes españoles.

2.2. La mano de obra

Los caciques gozaban del privilegio de poder emplear, como tributo, el servicio de sus súbditos para el laboreo de sus minas.

El servicio obligatorio a la colectividad era práctica corriente entre determinados grupos indígenas americanos (aztecas e incas). El sistema que ponían en práctica para el reclutamiento de los trabajadores, y el control ejercido sobre éstos en evitación de robos, implicaban una elaborada organización de carácter estatal.

En la mayoría de los centros productivos importantes se empleaban esclavos para la explotación de las minas, generalmente prisioneros de guerra procedentes de las tribus vecinas. Los yamecés, habitantes de la región del Nechí (Colombia), según relata FRAY PEDRO SIMON, en 1595 (1953, cit. en PLAZAS y FALCHETTI, 1983):

"tenían esclavos... para que les sirviesen en sus labranzas y minas, y así hallaron entre ellos esclavos pantágoras, aburras, guamocoos y aún malibues".

En las zonas mineras, las viviendas de los obreros y de los caciques comarcales estaban situadas en rellanos de las laderas de los cerros. Estos últimos mantenían allí grupos de súbditos empleados en el beneficio de los yacimientos.

2.3. Métodos de explotación

Aunque una parte de la producción de oro procedía del trabajo minero en filones, se puede suponer que la técnica de extracción más generalizada debió ser la del lavado de arenas de placeres fluviales, práctica que es conocida de las Antillas a los Andes. Esto es debido a que los placeres estaban en lugares más accesibles que los filones, y su explotación y beneficio fue mucho más sencilla que la de éstos.

a) Lavado de aluviones

El método utilizado para la obtención de oro en aluviones consistía en remover la tierra con palos cuya punta era endurecida al fuego (*macanas* o *coas*); a continuación esta tierra se lavaba en canales de piedra hasta obtener un residuo que contenía el oro, el cual era separado en recipientes planos de madera, llamados *bateas*.

La explotación de las minas de aluvión se hacía después de pasadas las crecidas de los arroyos, en la época de estiaje.

Vasco Núñez de Balboa describe el proceso de esta manera (PLAZAS y FALCHETTI, 1983):

"... esperan que crezcan los ríos de las quebradas, y desde pasan las crecientes quedan secos, y queda el oro descubierto de los que roba de las barrancas y trae de la sierra en muy gordos granos...".

Por su parte, CIEZA DE LEON (1922, cit. en DUQUE, 1982) refiere que vio:

"en una casa o bohío deste pueblo, una totuma,

que es a manera de una albornía grande, llena de tierra, y se apartaban los granos de oro de entre ella, muy espesos y grandes; vimos también allí los nacimientos y ríos donde lo cogían, y las macanas o coas con que lo labraban".

En épocas de lluvia, los indígenas empleaban redes para extraer el oro de la corriente de los ríos y arroyos, tal y como describe, un tanto exageradamente, Martín Fernández de Enciso en 1519 (PLAZAS y FALCHETTI, 1983):

"... y que cuando llueve atraviesan en los arroyos redes y que como cresce el agua, trae granos de oro grandes como huevos y que se quedan en las redes...".

También explotaron el oro acumulado en las terrazas aluviales, para lo cual desviaban y canalizaban el agua de los arroyos, que era así conducida a las terrazas, en donde el oro se lavaba separándolo de la grava en canales construidos al efecto.

b) Explotación de filones

El primer paso de la explotación de filones fue la extracción de sus afloramientos, lo que hicieron mediante zanjas tan profundas como permitía la estabilidad de sus paredes.

Sin embargo, en ciertas regiones se practicó una rudimentaria minería subterránea por medio de pozos poco profundos o pequeños socavones. SANCHO DE LA HOZ (1917, cit. en ALCINA, 1970) describe un método de explotación de la siguiente manera:

"Están las minas en la caja de un río, a la mitad de la altura, hechas a modo de cuevas, a cuya boca entran a escarbar la tierra y la escarban con cuernos de siervo y la sacan fuera con ciertos cueros coçidos en forma de sacos o de odres de pieles de ovejas. El modo con que las lavan es que sacan del mismo río una seriola de agua, y en la orilla tienen puestas ciertas losas muy lisas, sobre las cuales echan la tierra y echada sacan por una canaleja el agua de la seriola que viene a caer encima y el agua se lleva poco a poco la tierra, y se queda el oro en las mismas losas y de esta suerte lo recogen. Las minas entran mucho

dentro de la tierra, unas diez brazas y otras veinte y la mina mayor que se llama de Guarnacabo entra cuarenta brazas. No tiene luz ninguna, ni más anchura que para que pueda entrar una persona agachada y hasta que éste no sale no puede entrar ningún otro. Las gentes que aquí sacan oro podrán ser hasta cincuenta entre hombres y mugeres y estos son de toda esta tierra, de un cacique veinte y de otro cincuenta y de otro treinta, y de otro más o menos según que tienen, y lo sacan para el señor principal, y en ella tienen puesto tanto resguardo que de ningún modo pueden robarse cosa alguna de la que sacan".

En la región de Marmato (Colombia) también se efectuaba este tipo de explotación, como señala GUILLEN (1889, cit. en DUQUE, 1982):

"A un tiro de arcabuz deste cerro de Marmato, hay otro cerro así mesmo mui alto que se saca oro en él por socavones, que así los tenían hechos los naturales cuando los españoles entraron".

Sin duda el método de laboreo subterráneo reseñado por Sancho de la Hoz resulta poco común si se compara con los datos que se poseen de otras regiones del continente, e incluso de otras minas de la misma zona. Este autor continúa:

"Hay otras minas adelante de éstas y otras hay esparcidas por toda la tierra a manera de pozos profundos como de la altura de un hombre, en cuanto puede el de abajo dar la tierra al de arriba; y cuando los cauan tanto que ya el de arriba no puede alcanzarle, lo dejan y se van a hacer otros pozos...".

Seguramente, el tipo de mina más común ha debido ser semejante al descrito por Sancho de la Hoz en el párrafo anterior, es decir, hoyos de profundidad relativamente escasa, en los que trabajaban pocos hombres. Este mismo sistema, aunque algo más evolucionado, lo describe WHITE (1883, cit. en ALCINA, 1970) en la parte norte de Antioquia (Colombia). Así, en el noroeste antioqueño existen vestigios de los pozos excavados por los indígenas para explotar los filones de cuarzo y extraer el oro. Empleando herramientas de piedra, excavaban pozos verticales, o de hasta 30° o 40° de inclinación, muy estrechos -un metro de diámetro-, hasta cortar la

veta de cuarzo por varios puntos; los pozos mayores tenían una profundidad de 20 a 27 m; aparentemente no construían cámaras o galerías subterráneas, seguramente para evitar problemas de sostenimiento y por el peligro de desprendimiento. Estas labores ocupan grandes extensiones en el distrito aurífero de Antioquia y debieron emplear una mano de obra muy numerosa.

El trabajo en las minas debió ser agotador (ALCINA, 1970). Así, la estrechez de muchos de los pozos de la región de Buriticá y otros del norte de Antioquia, debió obligar a los mineros a efectuar el descenso por estos agujeros cabeza abajo. Incluso en las minas de los incas, en las que se trabajaba en galerías, el trabajo de extracción debió ser muy costoso, dado el instrumental utilizado: cuernos de ciervo, barras de madera con la punta de cobre, martillos de una aleación de cobre y oro de extraordinaria dureza, como el hallado en Marmato (Colombia), o los más comunes de piedra encontrados en la actual mina de cobre de Chuquicamata (Chile).

En algunos lugares se ha constatado la utilización de teas para la iluminación de las galerías (CASTILLO y LANG, 1995).

Las minas de la región del Lago Titicaca (Perú-Bolivia) estaban activas exclusivamente cuatro meses al año, e incluso durante ese tiempo, para no sobrecargar a los obreros, que hacían un servicio por turnos, se trabajaba desde el amanecer hasta el atardecer.

La explotación del oro filoniano implicaba, a veces, una preparación previa del terreno de las minas: en las sierras, prendían fuego a la vegetación, con lo cual se facilitaba el hallazgo de los filones mineralizados; así, según relata Vasco Núñez de Balboa en 1513 (PLAZAS y FALCHETTI, 1983):

"Otra manera de coger oro, hay que esperar que se seque la hierba en las sierras y les ponen fuego y después de quemada van a buscar por lo alto y por las partes más dispuestas y cogen el oro en mucha cantidad y en muy hermosos granos...".

En cuanto a la disposición del oro en filones,

Vadillo y sus compañeros vieron allí, en 1537 (DUQUE, 1982):

"... vetas o venas de oro que iban por la barranca, que era a modo de piçarral quassi blancaço, e avia algunas minas de tres estados de hondo".

2.4. Beneficio del oro y productos de fundición

El mineral arrancado del filón se transportaba desde las minas a las purificadoras en sacos de cuero o cestos de caña, y se molía luego en morteros de piedra consistentes, en su estado más evolucionado (quimbaleta), en una roca grande en forma de media luna, en cuyo lado plano se amarraba una viga sobresaliendo por los dos extremos, para que dos hombres empujando alternativamente hacia abajo mecieran la piedra, que así trituraba el mineral colocado bajo ella. Molida la mena, el oro se separaba lavándolo con bateas.

Existen evidencias de que en algunos centros mineros el metal en bruto era sometido al proceso de fundición, muy probablemente en crisoles de carbón (CASTILLO y LANG, 1995), con el fin de separar el metal puro y poder transportarlo con facilidad. Para eso tenían el equipo necesario en las cercanías de las minas. En Buriticá, se estableció un taller de fundición con hornillas y crisoles y el mismo CIEZA DE LEON (1922, cit. en DUQUE, 1982) comenta que disponía de romanas pequeñas y pesos para pesar el oro.

Este taller de fundición fue visitado por Vadillo y sus expedicionarios en junio de 1538, habiendo encontrado allí muchos crisoles y otros instrumentos para fundir oro.

Es posible que el oro así procesado fuera transportado posteriormente a otros lugares sin elaborar, bajo la forma de *tejuelos* de fundición, que eran pequeños trozos redondeados de metal que se encuentran en muchas regiones de orfebrería y que según los cronistas españoles eran transportados de un lado a otro.

El oro obtenido de placeres y filones contenía cantidades variables de metales y metaloides, tales como osmio, iridio, platino, bismuto, arsénico, antimonio, plomo, cinc, hierro y plata, los

cuales, si se presentaban en proporción suficiente, podían modificar el comportamiento del oro para ser trabajado en orfebrería. Este era el caso del denominado *oro agrio*, casi imposible de trabajar, en contraste con el *oro dulce*, dúctil y maleable.

Es muy probable que el proceso utilizado por los indígenas para afinar el oro, eliminando todo o parte de los elementos indeseables que pudiera contener, haya sido el siguiente: al calentar al rojo el oro en gránulos, en presencia de sal común y arcilla, las impurezas se volatilizan en forma de cloruros. De esta manera los gránulos quedan recubiertos de una capa de oro fino, tanto más gruesa cuanto más dure el proceso y más alta haya sido la temperatura. El oro así purificado se podía entonces martillear, repujar o recortar con mayor facilidad. Este proceso, conocido como *cementación*, fue utilizado en la casa de la moneda de Bogotá desde 1627 hasta 1838 siguiendo la tradición indígena.

El oro no siempre se empleaba en su forma pura u *oro fino* (90-92% de oro, equivalente a 22 quilates); con frecuencia se aleaba con cobre para formar *oro bajo* (60% de oro o 14 quilates) y *tumbaga* (30% de oro o 7 quilates). Esta última tuvo una gran difusión debido a sus favorables características para ser trabajada (DUQUE, 1982).

La tumbaga se obtenía mezclando 7 partes de cobre con 3 de oro, con lo cual se conseguía rebajar en unos 250° la temperatura de fusión de los metales: 1.063° para el oro, 1.083° para el cobre y 800° para la tumbaga. Si se tienen en cuenta las condiciones bajo las cuales los indígenas fundieron los metales, esta reducción de temperatura les ofrecía considerables ventajas. Además, por sus características mecánicas, las piezas fundidas en tumbaga reproducían mejor los detalles decorativos que las elaboradas con cobre u oro de alta ley. Esta aleación también se utilizaba para realizar piezas que se revestían superficialmente con oro fino. La tumbaga se usaba en las zonas pobres en minas de oro, metal éste que los nativos obtenían por comercio.

Las fundiciones y talleres estaban, salvo excepciones, situados en un lugar distinto de las minas propiamente dichas. Minería y orfebrería eran dos oficios independientes, cada uno de los cua-

les implicaba una serie de desarrollos técnicos específicos, y una cierta especialización definida y propia. Es claro que en muchos centros mineros no existían orfebres y los nativos se dedicaban exclusivamente a la explotación y comercio del metal bruto.

Por otro lado, en muchas regiones en donde floreció la orfebrería no existen yacimientos auríferos y, por lo tanto, los orfebres debían obtener la materia prima por comercio. La producción de piezas de oro en los centros mineros constituía una actividad secundaria, muy distinta de la especialización y producción masiva característica de las áreas de orfebrería.

3. LA MINERÍA HISPANA EN AMÉRICA

3.1. Antecedentes de la minería

El oro no fue uno de los metales más abundantemente encontrado en América, pero por su alto valor, tuvo un gran peso específico en la economía colonial.

El valor que el oro tenía para el europeo, como símbolo de riqueza material, era diferente del que le daban los indios, para los cuales tenía una significación religiosa y constituía un símbolo de distinción social, al ser de privilegio exclusivo de los jefes y sacerdotes la utilización de ciertos ornamentos con él elaborados (HABASHI, 1992).

Al llegar Colón a las Islas Antillas, tuvo lugar el primer contacto de los europeos con el oro americano, cuando los indígenas les ofrecieron piezas de este metal a cambio de cuentas de vidrio, telas y otros objetos de manufactura española. Colón recogió noticias acerca de la posible existencia de minas de oro, especialmente en La Española (PLAZAS y FALCHETTI, 1983).

Ya en su segundo viaje, Colón llevó herramientas y 1.590 hombres de los cuales, una gran parte, iba a trabajar en las recién descubiertas minas de oro de dicha isla. Al año siguiente, en 1494, en un memorial dirigido a los Reyes de España, pedía lavadores de oro y mineros de Almadén (PUCHE y AYALA, 1995).

Tras los hallazgos auríferos de La Española, ense-

guida se descubrieron otras minas en las Antillas (Cuba, Puerto Rico), pero las expectativas de hallar grandes riquezas se vieron frustradas puesto que estas islas carecían de yacimientos importantes. Posteriores expediciones se dirigieron al continente, que era donde se encontraba la gran riqueza aurífera. Así, las primeras explotaciones de oro, en el istmo de Panamá, se efectuaron por Colón en su cuarto viaje, reconociendo la región de Veragua con escaso éxito; posteriormente las exploraciones se dirigieron hacia el sur, penetrando por los ríos colombianos Cauca y Magdalena (CASTILLO y LANG, 1995).

Al entrar en contacto por primera vez con un determinado grupo indígena, los españoles intentaban adquirir oro mediante trueque por mercancías europeas. Sin embargo, de este sistema se pasó rápidamente a la expropiación de tesoros indígenas, al saqueo de tumbas y, finalmente, al agotarse esas fuentes, a la minería (PLAZAS y FACHETTI, 1983).

La fiebre del oro se inició con la conquista de los dos mayores imperios del Nuevo Mundo: el de los Aztecas en Méjico y el de los Incas del Perú. Cuando en 1519 Hernán Cortés conquistó Méjico, los españoles obtuvieron grandes cantidades de oro procedentes de los tesoros acumulados durante años por Moctezuma y los nobles aztecas. Sin embargo, en Méjico no existen ricas minas de oro y, una vez tomado ese botín, los españoles iniciaron la explotación de la plata, la cual fue durante muchos años la principal fuente de riqueza del territorio mejicano, ya que el oro se extrajo en mucha menor cantidad.

La conquista del Perú por Francisco de Pizarro, en 1531, supuso la obtención de una gran cantidad de oro, pues el Imperio Inca sí poseía recursos auríferos naturales que los españoles se apresuraron a buscar. El tesoro de Atahualpa, cuya riqueza no tuvo igual en la historia de la conquista de América, fue igualmente requisado por los españoles.

En los primeros años del siglo XVI ya existían algunos asentamientos españoles en la costa atlántica colombiana, desde los cuales iniciaron las expediciones en busca de oro. Los tesoros encontrados fueron de mucha menor importancia que los de Moctezuma y Atahualpa, pero los

indígenas de la región poseían otro tipo de riqueza: el oro de las tumbas que generaciones de indígenas habían enterrado junto a sus muertos. La zona de Sinú, en el noroeste colombiano, fue célebre por sus riquezas funerarias y, desde ella, el fenómeno se desplazó progresivamente a otras regiones (PLAZAS y FALCHETTI, 1983).

En esta época, el oro que se obtenía era fundido en lingotes, los cuales se embarcaban a Europa en cualquiera de las flotas que hacían el servicio regular hasta Sevilla primero o Cádiz después.

Debido a los éxitos obtenidos en las conquistas de Méjico y Perú y al saqueo de sepulcros colombianos, se multiplicaron las expediciones en busca de tesoros, y fue entonces cuando surgieron numerosas historias acerca de legendarios Dorados, o lugares extraordinariamente ricos en oro.

El oro acumulado durante siglos por los indígenas fue requisado aproximadamente entre 1515 y 1540. A partir de entonces, al agotarse estos suministros, los españoles se dedicaron a la búsqueda sistemática de fuentes permanentes del metal. Se pasó así a la explotación de las minas de oro, muchas de las cuales eran conocidas y beneficiadas por los indígenas desde épocas anteriores a la conquista. Aunque se extrajeron cantidades de oro variables, y en ocasiones sustanciosas, el valor y el volumen de la plata fue siempre considerablemente mayor.

El siglo XVI puede considerarse el Siglo de Oro de la minería, debido al hallazgo de los principales criaderos minerales y a los notables descubrimientos científicos que en él tuvieron lugar. En su primera mitad fueron encontradas las minas de Antioquia (Colombia), Loja y Zamora (Ecuador), Carabaya y Oruro (Bolivia), etc.

La mano de obra de las minas estaba formada por trabajadores negros e indígenas. El trabajo forzado a que fueron sometidos estos últimos en los primeros años de la colonización contribuyó a que mantuvieran ocultos y no divulgaran a los españoles muchos de los yacimientos auríferos que conocían y explotaban antes de la llegada de éstos.

La minería hispanoamericana del oro se inició

adoptando las técnicas empleadas por los indígenas, y no presenta apenas diferencias con la realizada para la extracción del resto de los metales. Las minas subterráneas más grandes y de mayor producción fueron las de plata, siendo las de oro mucho más modestas, ya que el metal provenía fundamentalmente de los placeres aluviales. En la descripción de los métodos y labores mineras que sigue, se comentan todos los aspectos conocidos acerca de ellos, con independencia de la existencia o no de minas de oro que los comprendieran en su conjunto. De esta forma se proporciona una visión de la minería de la época lo más completa posible. En realidad, la complejidad que se manifiesta en los métodos subterráneos más tecnificados no era común en las minas auríferas, muchas de ellas pequeñas y, por tanto, sin posibilidad de costear estructuras excesivamente complicadas y caras.

3.2. Regulación y fiscalidad de la Minería

La legislación española contemplaba toda la riqueza del subsuelo como parte del patrimonio real. Sin embargo, el Estado cedía a particulares el usufructo de las minas a condición de que el usufructuario las registrara ante las autoridades virreinales, y se comprometiera al pago de los impuestos. Esto, en la práctica, supuso dejar en manos privadas la explotación de todos los yacimientos americanos.

La Corona no hizo nada por racionalizar la explotación de los minerales, pues, deseosa de obtener el mayor provecho de sus derechos, consideró que dejando plena libertad para la prospección y la extracción, se conseguiría el máximo de producción. Las leyes que limitaban el tamaño de las concesiones, condujeron a la proliferación de pequeñas minas, muchas veces explotadas por mineros aficionados sin un mínimo de conocimientos.

El concepto de mina vigente en la época era distinto del actual. En aquel entonces, una mina abarcaba una superficie de reducidas dimensiones (48 m x 24 m puede servir de referencia) que, en el caso de minería subterránea, se proyectaba sobre el filón. Por tanto, en este caso concreto, una mina se restringía a los derechos de explotación sobre un panel del filón, medido sobre su

rumbo y buzamiento, que era otorgado a un usufructuario. Las dimensiones de los paneles estaban fijadas por ley, pero variaban de unos lugares a otros y con el tipo de metal a explotar. Por tanto, un filón podía ser explotado simultáneamente por medio de varias minas independientes, situadas unas a continuación de las otras, de arriba abajo o lateralmente. Al objeto de evitar monopolios, la legislación limitaba el número máximo de minas que podía poseer un mismo usufructuario, que solían ser una, dos o pocas más, dependiendo del lugar.

El trabajo minero en América se rigió en sus comienzos por una serie de ordenanzas de carácter territorial y local (1537, Ordenanza de Nueva España; 1546 y 1550, Ordenanzas del Virreinato del Perú; 1561, Ordenanzas de Potosí y Chile), que poco tenían en común con la legislación en España. Además, estas ordenanzas presentaban claras distinciones entre los territorios coloniales, y afectaban al laboreo, conservación, terminología, plazos de explotación, trabajo de los indios, etc. (RAMOS, 1970).

Avanzado el siglo XVI se promulgaron dos ordenanzas mineras que, en cierto modo, definieron los dos ámbitos continentales. Fueron la Ordenanza del Virrey Toledo para el Perú, de 1574, y la Ordenanza del Nuevo Cuaderno, de Felipe II, en 1584. La primera tenía carácter indiano y la segunda, no. La promulgada en Perú tuvo una difusión extensiva, no sólo en este Virreinato sino también en Nueva España, en donde jurídicamente no era de aplicación jurisdiccional. Las cuestiones no reguladas por la ordenanza peruana eran complementadas por el Nuevo Cuaderno, a pesar de que éste había sido redactado para la minería peninsular, y no para la americana.

La legislación minera indiana fue reordenada en la Recopilación de 1680, aunque dicho compendio resultó claramente insuficiente, especialmente en los aspectos funcionales que, por ello, siguieron las pautas marcadas por la legislación precedente. Esta situación llevó la minería colonial a un caos organizativo, al que se puso remedio un siglo más tarde mediante una nueva reforma que impulsó en 1783 la promulgación de las Ordenanzas de Minería de Nueva España las

cuales, aunque de carácter territorial, tuvieron gran trascendencia. Ligeramente retocadas y adaptadas, fueron extendidas al resto de la América hispana en los cinco años siguientes, si bien, a pesar de su carácter integrador siguieron brotando proyectos de ordenación local.

El Estado ejercía un férreo control fiscal sobre la minería al objeto de conseguir la mayor eficacia en el cobro de los impuestos. Por ello dispuso que sólo a través del Estado se pudieran obtener los productos clave para la extracción y beneficio de los metales preciosos.

No obstante, los fraudes y el contrabando fueron muy frecuentes en la época, tanto que la Corona no fue capaz de suprimirlos a pesar de sus constantes y variadas medidas al respecto. El importe de lo defraudado se estima en un treinta por ciento del total.

La fiscalidad de la época consistía inicialmente en el pago de una quinta parte del valor del producto (quinto real); más tarde este porcentaje se redujo considerablemente en un intento de fomentar la actividad minera tras unos años de recesión. Así ocurrió en 1723 en Méjico al rebajarse a una décima parte (décimo) y en 1736 en Colombia al bajar a una veinteava parte. En los Andes se siguió recaudando un quinto hasta 1778, momento en que se ordenó una reducción general en toda Hispanoamérica: un 3% en las colonias y un 2% adicional a la llegada del oro a España (BETHELL, 1990).

3.3. La mano de obra

La minería del oro dependía fundamentalmente de los trabajadores negros, esclavos o libres, ya que los indígenas representaban sólo una pequeña proporción. Los blancos, por lo general, se reservaban el papel de usufructuarios, supervisores o realizaban la prospección (BETHELL, 1990).

Los trabajadores indígenas fueron reclutados para la mina por varios sistemas como son (cronológicamente ordenados), encomienda, esclavismo, trabajo forzado y trabajo a jornal.

La minería inicialmente practicada en las Antillas

antes de 1500, de placer o subterránea, fue realizada por indios que Colón había distribuido entre los colonos españoles, con la obligación por parte de éstos de evangelizarlos (*encomienda*). Rápidamente se añadieron aborígenes antillanos o caribeños esclavizados. Posteriormente se recurrió a los esclavos negros traídos de África. Mientras tanto, el empleo de indios en régimen de *encomienda* o esclavitud, se extendió por Centro y Sudamérica. El reclutamiento forzado de los indígenas sucedió a la *encomienda*, a semejanza del sistema de trabajo obligado para la colectividad empleado por los aztecas (*coatequitl*) e incas (*mita*). Mediante esta práctica un cierto número de indios era forzado a trabajar en las minas a cambio de un salario estipulado. Estos trabajadores normalmente pasaban un año en la mina y seis en tareas propias (MARTINEZ, 1970), aunque se dieron numerosos abusos debido a la diferencia salarial de estos obreros con los empleados a jornal, a pesar de la estricta legislación existente al respecto. La situación llegó a ser tan problemática que hubo diversas propuestas para suprimir el trabajo forzado, ninguna de las cuales prosperó por condicionamientos económicos (EZQUERRA, 1970) hasta que fue abolido en 1812 tras un período de desaparición gradual (CASTILLO y LANG, 1995). A lo largo del siglo XVI la mano de obra reclutada superó a la de *encomienda* y a los esclavos indígenas. En la minería del oro, se pueden citar los reclutamientos de Chile (siglo XVI y comienzos del XVII) y Ecuador (siglo XVI). El trabajo asalariado, reducido en los inicios de la minería, se incrementó rápidamente ya que ésta requería habilidades que, una vez adquiridas, eran muy apreciadas y, además, en muchas zonas mineras no existía población suficiente para ser reclutada o sometida a la *encomienda*. El salario que percibían los trabajadores libres podía ser hasta cuatro veces superior al que recibía un trabajador forzado. El trabajo de hombres libres a jornal fue la forma preponderante de empleo en los grandes distritos mineros desde finales del siglo XVI en adelante. Una faceta importante de este colectivo fue su movilidad, desplazándose largas distancias hacia donde se anunciaban buenas perspectivas.

La minería aurífera, predominantemente realizada en los aluviones situados en las tierras situadas a baja o media altitud, fue dominio de los trabajadores negros, mejor adaptados a estas

condiciones climáticas que a las existentes en los altiplanos andinos o mejicanos. Parece ser que el trabajo de estos obreros en labores subterráneas situadas a considerable altitud, no llegaba a rendir lo suficiente como para amortizar su precio de compra y manutención; por ello, en tales sitios se les dedicaba a trabajos en el exterior (molienda del mineral, beneficio). En las tierras bajas, por el contrario, los negros tenían buena resistencia a las enfermedades y trabajos duros, mientras que los indios no. La mayor concentración de trabajadores negros se dio en Colombia, donde en 1787 las tres principales regiones auríferas (Antioquia, Popayán y Chocó) reunían un contingente de 17.000 negros, muchos de ellos dedicados a la minería, de los cuales una gran parte eran libres. Chile fue la única región aurífera donde no predominaron los negros, empleando indios esclavos y de *encomienda* (siglo XVI) y, más tarde, mestizos (siglo XVIII) (BETHELL, 1990).

En época de carencia de trabajadores, se recurría a mujeres, niños y ancianos para realizar tareas en el exterior de la mina.

El trabajo semanal comenzaba los lunes con el reparto de la mano de obra forzada entre las distintas explotaciones. Se trabajaban cinco días a la semana, desde el amanecer hasta la puesta de sol, es decir, unas doce o trece horas de trabajo, con diversos períodos de descanso. Se guardaban las fiestas religiosas.

La remuneración por el trabajo se hacía en dinero o, desde el siglo XVIII, optativamente, en mineral que el obrero beneficiaba por su cuenta.

3.4. Métodos de explotación

La actividad extractiva en la primera época consistió en un simple bateado de las arenas aluviales. Así lo hicieron los soldados mineros que acompañaron a Cortés o a Pizarro en sus viajes (DÍAZ DEL CASTILLO, 1947, cit. en RAMOS, 1970). De hecho, la inexperiencia de los españoles recién llegados era tan manifiesta en las técnicas mineras que, en una propuesta de reforma planteada en la época de Carlos I, se propone encomendar el trabajo en las minas exclusiva-

mente a los indígenas, reservándose los españoles la labor de descubrir yacimientos (LAS CASAS, 1957, cit. en RAMOS, 1970), proyecto que finalmente no se llevó a cabo. Posteriormente se descubrieron yacimientos filonianos o se llegaron a conocer los que explotaban los indígenas; las labores de producción de mineral se acometieron con los métodos indígenas a los que poco a poco se incorporaron mejoras.

Por tanto, dos eran los tipos de depósitos auríferos que llegaron a explotarse: los aluviones y los filones.

3.4.1. Minería de aluviones

La técnica de explotación de los aluviones siguió las pautas de la minería indígena realizada con anterioridad a la llegada de los españoles, por lo que no se insiste sobre la cuestión.

El oro de los aluviones podía encontrarse de dos formas: o muy menudo (*oro en polvo* u *oro volador*, por ser tan diminuto que apenas podía ser retenido), o bien en granos denominados *pepitas*. A su vez, el material del aluvial podía ser de fina arena, de arena gruesa o de carácter heterogéneo (mezcla de gravas y arenas). En el primer caso, el mineral se denominaba *aventadero*, porque bastaba aventar la arena como si fuera trigo para que el viento se la llevara, cayendo el oro a los pies del minero. En los otros dos casos, el material se llevaba a lavaderos para separar el oro, bien por el procedimiento de acequias, bien mediante bateas (LOHMANN, 1970).

3.4.2. Minería de filones

En la explotación de los filones de cuarzo aurífero se pueden diferenciar tres tipos de métodos mineros, de más sencillo a más complejo:

- Minería de afloramientos mediante zanjas
- Minería subterránea mediante pozos aislados
- Minería subterránea con socavones

La minería del oro nunca tuvo las dimensiones de

las explotaciones argentíferas, en las cuales se alcanzó el máximo desarrollo técnico. A pesar de ello, las minas de oro se explotaron con tecnología similar aunque a escala más reducida. A esta situación se llegó gradualmente partiendo de los métodos indígenas, que siguieron empleándose en los primeros tiempos de la colonización (ESPINOSA, 1994).

a) Minería de afloramientos

Consistía en abrir una *cata* de investigación (pocillo de escasa profundidad) y posteriormente una zanja sobre la traza superficial del filón, alcanzando una hondura compatible con la estabilidad de los hastiales. Este tipo de minería llegó a estar prohibida en ciertos lugares debido a la frecuencia con que se derrumbaban las paredes y el elevado número de víctimas que tales accidentes ocasionaban.

b) Minería subterránea mediante pozos aislados

Era una minería primitiva, similar a la que efectuaban los indígenas antes de la colonización. Consistía en lo siguiente:

Si el filón afloraba en buenas condiciones, se excavaban pocillos siguiendo su buzamiento en profundidad, al igual que hacían los indígenas desde antes de la llegada de los españoles. Cuando esto no era posible, se abría un pozo vertical o muy inclinado en las proximidades del filón, con objeto de cortarle a una cierta profundidad. Llegados por uno u otro sistema a un determinado punto del filón, se reconocía éste lateralmente mediante una serie de galerías estrechas y tortuosas. Encontrada una zona rica o *bonanza*, se concentraba en ella la verdadera explotación hasta extraer la mayor cantidad posible de mineral útil. El material se sacaba al exterior por el pozo, vertical o inclinado, llamado *tiro*, por donde también se extraían las aguas de desagüe de la mina.

Por su propia naturaleza, estas labores eran relativamente superficiales, ya que el alcance de la ventilación era muy limitado.

c) Minería subterránea con socavones

Al explotar los filones en profundidad por el método anterior, pronto se constató la conveniencia de construir ciertas labores que comunicaran unas minas con otras e hicieran más sencillo el acceso del personal a los filones, la explotación de éstos, la extracción del mineral y el drenaje de las minas. Estas labores fueron los *socavones* o *contraminas*, los cuales, además, fueron muy útiles para investigar zonas nuevas y establecer circuitos de ventilación. Los socavones, con el emboquille en superficie, tenían una ligera pendiente hacia la salida y comunicaban diversas minas entre sí. Podían ser construídos por empresarios sin titularidad en las minas afectadas, aunque los usufructuarios de éstas estaban obligados por ley a satisfacer al dueño del socavón un peaje por la utilización del mismo, normalmente consistente en la cesión de una quinta parte del mineral extraído.

La construcción de socavones abrió nuevas perspectivas para la explotación profunda de los filones, al poderse acceder a ellos mediante labores ascendentes, descendentes o a nivel desde el subsuelo.

Los socavones podían tener longitudes muy variadas, llegando a veces hasta 300, 400 e incluso 900 m de largo, y secciones que permitían la circulación y cruce de personas erguidas (2 m de ancho x 2 m de alto). Solían llevar una cuneta, a veces cubierta con losas de piedra, para evacuar el agua. La construcción de los socavones a veces duraba decenas de años, prolongándolos a medida que era necesario (BAKEWELL, 1988).

Cuando el socavón cortaba un filón, se abrían labores sobre él, excavándose hacia arriba, hacia abajo o lateralmente. Eran galerías angostas y estrechas, en fondo de saco, hasta que se comunicaban con el exterior. Otras veces se construían galerías auxiliares en pendiente para calar a la superficie (*lumbreras*) y poder establecer un circuito de ventilación próximo a los tajos. En las explotaciones grandes podía haber varios socavones en servicio intercomunicados por labores verticales o muy inclinadas, formando un retículo de galerías que facilitaba la circulación del aire por el interior.

Las minas se comunicaban entre sí por medio de estrechas galerías, denominadas *barrenos*, por las que podía pasar justamente una persona. Esporádicamente, para asegurar la estabilidad del socavón o de las labores sobre el filón, se construían llaves de piedra o, más raramente, de madera, a cuyo través se mantenía un hueco para el paso de personas, o se dejaban pilares de roca o mineral sin extraer que debían permanecer allí permanentemente. El trabajo en estéril se denominaba *faena*. El mineral arrancado de las minas era transportado hasta el socavón, por donde salía a la superficie.

Una de las mayores explotaciones de oro fue la de Espíritu Santo, en Darién (Colombia), en donde antes de su cierre definitivo en 1727 debido a un derrumbe interno, había galerías en cinco niveles y trabajaban 200 hombres que circulaban por ella sin estorbarse (ESPINOSA, 1994).

3.5. El trabajo en las minas

a) Arranque de estéril y mineral

En los años iniciales de la colonización, las rocas más duras se partían mediante la acción alternativa del fuego y el agua. Ello conllevaba avances muy lentos y caros. Este método siguió utilizándose hasta que se introdujo el uso de la pólvora. Para rocas de menor dureza el arranque era efectuado por los *barreteros* (GAMBOA, 1761), así llamados por utilizar una *barra* de hierro para romper el mineral. Trabajaban sentados o de rodillas. Otras veces se utilizaban martillos de hierro de 4, 5 ó 6 kg de peso, denominados *picos*, combinados con *cuñas* de hierro, de filo acerado, de 0,5 ó 1 kg de peso. Herramientas de uso también frecuente eran azadones, azuelas, pesas, palancas, sierras, etc.

Los agujeros o *barrenos* para introducir los cartuchos de pólvora en los frentes se hacían con martillos y punterolas o *barrenas* de distintas longitudes. Tenían 1 m de profundidad y de 2 a 4 cm de diámetro. Eran perforados por un indio denominado *golpeador*. Las voladuras se conocían con el nombre de *cohetazo*. GAMBOA (1761) las define como:

"modo de rebentar la peña, envolviendo polvora en papel, que se lía con palma, u otra hierba correosa; y apretada con tierra blanca cernida, queda fuera un poco de cañuela, para ponerle la mecha, y darle fuego."

En condiciones húmedas, los cartuchos se impermeabilizaban con sebo o brea (BAKEWELL, 1988).

El *atacador* estaba construido con hierro y no acero *"porque no haga fuego antes de tiempo"* (GAMBOA, 1761). Las *mechas* empleadas eran, según este autor:

"una torcida de sebo, que forma el operario, nombrado cohetero, o golpeador de sus calzonzillos, o camisa, las mas veces para dar fuego al cohete."

La composición de la pólvora era 65% de nitrato potásico, 30% de azufre y 5% de carbón. Se tiene noticia de consumos de pólvora que variaban de 0,5 a 2 kg/t de roca volada, según dureza. La utilización de la pólvora abarató grandemente los costes mineros, permitió avances en las galerías desconocidos hasta entonces e hizo más fácil la dura labor de los mineros.

En los frentes existían distintas categorías de trabajadores: unos troceaban con martillos las piedras de gran tamaño arrancadas por los barreteros o las voladuras, otros amontonaban el mineral arrancado, los terceros hacían un estrío manual antes de transportarlo al exterior.

Los barreteros solían escogerse entre los indígenas más fuertes. En las minas subterráneas, trabajaban a la luz de velas ayudados por muchachos denominados *pepes*, que las sostenían. A partir del siglo XVIII se implantaría el uso generalizado del candil de Almadén, diseñado en esta mina, y con claras ventajas funcionales y económicas respecto a otros modelos inventados en distintos países europeos.

b) Transporte del mineral al exterior

El mineral se sacaba al exterior transportado por trabajadores indios que portaban un saco de cuero a la espalda, de dimensiones aproximadas

0,8m x 0,4m. Cargaban de 20 a 40 kg por viaje (SERRANO, 1997). Normalmente iban en cuadrillas de 2 ó 3, llevando el primero una vela para iluminar al grupo atada a la cabeza o al dedo pulgar con unas hebras de lana. Este tipo de transporte se siguió utilizando durante muchos años, aún cuando la amplitud de los socavones podría haber permitido la circulación de carretones, facilitando la labor de los obreros.

Los desniveles existentes en el interior de las minas se salvaban mediante escaleras de distinto tipo: troncos de madera con muescas para colocar los pies, tablas encajadas entre los hastiales de la galería o escalas de cuerda con peldaños de madera o cuero intercalados. Los tramos de escaleras en las minas más antiguas podían tener 300 m o más de longitud, aunque paulatinamente se fueron acortando hasta 25 ó 30 m para facilitar el trabajo. Donde terminaba cada tramo de escaleras se ubicaba una plataforma de descanso, formada por andamios hechos con troncos y tablas.

Si la mina disponía de un pozo vertical, el mineral se extraía en capachos de cuero mediante tornos (*malacates*) colocados en la boca del pozo.

Dada la dificultad para sacar el material al exterior, el estéril y las menas pobres se dejaban almacenados en el interior de la mina, unas veces temporalmente y otras de forma definitiva.

El mineral aurífero solía depositarse en la explanada existente junto a la bocamina.

c) Escogido del mineral

En esta explanada (plaza de la mina), periódicamente se procedía al estrío manual del mineral, separándose los fragmentos de estéril de los de mena. Esta labor, en épocas de escasez de personal, podía ser efectuada por mujeres, niños y ancianos. La mena seleccionada se llevaba a beneficiar y el estéril a escombreras denominadas *terreros*.

d) Transporte exterior del mineral y del oro

El mineral estriado se transportaba desde la plaza de la mina a la zona de beneficio cargado en

recuas de asnos o llamas. Los primeros cargaban unos 50 kg, y las segundas la mitad. También se utilizaban estos animales para acarrear el oro a los puertos de embarque del metal hacia Europa. Desde allí las recuas volvían a las zonas mineras cargadas con mercancías y productos de consumo. En ciertas regiones, las llamas estaban protegidas, prohibiéndose su sacrificio para la comercialización de la carne por ser parte del aparato productivo.

Existían trabajadores específicamente dedicados a estas labores de transporte aunque, a veces, se podía contratar ocasionalmente los viajes a los propietarios de las recuas.

e) Beneficio del oro

El oro filoniano se encontraba puro o mezclado con materias extrañas (comúnmente plata o cobre) de las que era preciso separarlo. En el primer caso se lavaba con bateas, al igual que el procedente de aluviones; el oro incluido en fragmentos de roca se trituraba con machacadoras (*bocardes*) hasta reducirlo a polvo; a continuación se mezclaba con azogue para, mediante amalgamación, obtenerlo en forma pura (LOH-MANN, 1970). Posteriormente, el oro era fundido en lingotes y expedido a Europa o a las casas de acuñación de moneda.

f) Otro personal de la mina

Aparte de los trabajadores citados con anterioridad, existía o podía existir personal dedicado a ciertas funciones específicas, como :

- Mantenimiento de galerías y socavones, fortificándolas, estabilizándolas o reparándolas.
- Operaciones de salvamento, siendo expertos en la evacuación rápida al exterior de material colapsado por derrumbamientos.
- Vigilancia del trabajo de los trabajadores forzados y de la buena conservación de las labores.
- Guardería que aseguraba el cierre de las boca-

minas los días festivos y vigilaba la plaza de la mina, las herramientas, etc.

g) Mandos

Tenían denominaciones variadas, según los lugares. Se pueden citar los siguientes:

- Alcalde. Era español y ejercía de director de la mina y de los trabajadores forzados.
- Veedor. Español igualmente, era responsable de la seguridad. Podía haber varios por mina.
- Capitán de mitayos. Generalmente era un jefe indio responsable de un cierto número de trabajadores forzados o *mitayos*.
- Teniente. Era el verdadero capataz y vigilaba el cumplimiento de los distintos trabajos en el interior de la mina.
- Fiscal. Indio responsable de vigilar las actividades de aprendizaje de los obreros novatos.

h) Desagüe de las minas

En las minas que no disponían de socavones, el agua se conducía a una *pileta* en donde se recogía para que no descendiera e inundara las labores inferiores. Desde esa pileta, el agua se evacuaba al exterior en recipientes cerrados de cuero, elaborados con pieles enteras de buey (*botas*), que se subían por las labores arrastradas por indígenas, o mediante un malacate colocado en la bocamina. En este caso, los malacates estaban protegidos por una construcción techada que, además, evitaba la introducción del agua en las labores. Menos frecuente era la construcción de pozos específicos para desagüe, más o menos verticales, emboquillados en superficie, cuyo fondo estaba a cota inferior a la de las labores, al objeto de captar las aguas por debajo de éstas forzando el drenaje. Estas obras eran caras y sus resultados, impredecibles, por lo cual su construcción no se generalizó. Por el contrario, el desagüe mediante socavones era muy sencillo pues bastaba conducir las aguas hacia la cuneta que las sacaba directamente a la superficie por gravedad. En las labores descendentes emboqui-

lladas en el socavón, se tenía que elevar el agua como en el primer caso, arrastrándola en botas o mediante malacates, hasta la cota del socavón o de su cuneta, en donde se vertían.

i) Ventilación de las minas

Las minas sin circuito de ventilación contenían un aire de baja calidad, empobrecido en oxígeno, que obligaba a trabajar en condiciones penosas. La iluminación se veía afectada igualmente. La comunicación entre minas o entre mina y socavón, permitió establecer un circuito de ventilación con tiro natural que, si bien mejoró la situación, con frecuencia no era suficiente para mantener un aire de calidad adecuada al duro trabajo de los obreros.

La implantación de la pólvora como medio de arranque agravó el problema debido a los gases y al polvo producidos tras la voladura, de difícil eliminación.

Por estas razones fue necesario complementar el tiro natural con ciertos medios artificiales como ventiladores de palas, fuelles o adosando a la salida natural de la ventilación un horno permanentemente encendido, con el hogar conectado a una tubería que entraba en las labores y succionaba el aire más o menos contaminado de ellas.

j) Consumibles de la mina

Entre los materiales de mayor consumo en las minas pueden citarse:

- Madera, utilizada en fortificaciones, andamios, escaleras, llaves, etc.
- Cañas para elaborar cestos en los que acarrear objetos diversos.
- Cuero para fabricar mochilas y cestos para el transporte de mineral y estéril, pellejos para evacuar el agua de la mina, peldaños de escalera, etc.
- Velas, insustituibles para la iluminación en el interior, hasta la llegada de los candiles.

- Pólvora, a veces fabricada a pié de mina, si la existencia natural de sus componentes lo permitía.

- Hojas de coca, de consumo habitual entre los trabajadores de los altiplanos, para sobrellevar el tremendo esfuerzo físico a que estaban sometidos.

3.6. La salubridad y la seguridad en el trabajo minero

El trabajo en las minas de oro comportaba riesgos particulares. Las situadas en zonas bajas tenían un clima húmedo en donde los obreros se encontraban expuestos a contraer enfermedades tropicales. Además, el trabajo en placeres con bateas les obligaba a permanecer largo rato metidos en el agua.

En las minas subterráneas, la falta de ventilación impedía la limpieza del aire, que solía estar cargado de polvo, humo y gases producidos por el trasiego de los obreros, los sistemas de iluminación o el arranque con pólvora.

El refinado del oro encerraba también sus riesgos, dos de los cuales eran especialmente graves: el polvo producido por las machacadoras y el estrecho contacto de los obreros con el mercurio utilizado en la amalgamación.

Por todo ello, enfermedades como la silicosis o el hidrargirismo eran comunes, siendo causa principal de fallecimientos (CASTILLO y LANG, 1995).

Las normas de seguridad posiblemente escasearon durante el trabajo minero, especialmente en minería subterránea, a pesar de los esfuerzos de los legisladores. Los Alcaldes y los Veedores de muchas minas se esforzaron por hacer cumplir las disposiciones existentes. Los accidentes que ocurrían en las minas se debían fundamentalmente a los malos tratos (golpes, latigazos, patadas) que propinaban los capataces a los mineros, a los derrumbamientos en las galerías y a las caídas desde las escaleras. Los culpables de los accidentes eran multados, encarcelados o desterrados según la gravedad del daño provocado (SERRANO, en prensa).

Entre las rudimentarias medidas de seguridad de la época se pueden citar:

- Prohibir el trabajo a cielo abierto por el peligro de derrumbamientos.
- Estipular una longitud máxima de los tramos de escaleras y del espaciado de los peldaños.
- Disponer plataformas de descanso entre los tramos de escaleras.
- Limitar el horario de trabajo.
- Construir llaves y fortificaciones, vigilar su estado y repararlas.
- Dejar pilares en socavones y labores.
- Prohibir el arranque de dichos pilares.

Los trabajadores forzados tenían una serie de derechos reconocidos en la legislación que, no obstante, se incumplían con frecuencia ante la impotencia de las autoridades coloniales.

En algunos centros mineros de importancia, los propios trabajadores fomentaron la creación de hospitales para atender a los enfermos y accidentados de las minas (SERRANO, en prensa).

4. CONCLUSIONES

Los yacimientos auríferos explotados en Hispanoamérica corresponden a los aluviales de los ríos y, en menor medida, a los filones de cuarzo.

La minería del oro precolombina es muy antigua, conociéndose piezas de este metal datadas hacia el 1500 a.C. Durante este período, las técnicas de explotación apenas evolucionaron, consistiendo en la excavación de zanjas o de cortas y angostas galerías o pozos, y en el bateado de aluviales. Sin embargo, son apreciables los avances en la fundición y aleación del metal y en las técnicas de orfebrería.

Con la colonización española se mejoraron los métodos de explotación subterránea, debido fundamentalmente al gran desarrollo de la minería

de la plata, mucho más importante que la del oro. El beneficio del metal también se aprovechó de las técnicas de amalgamación, imponiéndose como tratamiento metalúrgico. El oro se enviaba a España o se utilizaba para acuñar moneda. Si bien el valor de la producción casi nunca fue superior al de la plata, el oro tuvo una gran importancia en la economía colonial.

REFERENCIAS

ALCINA, J. (1970). La producción y el uso de los metales en la América precolombina. VI Congreso Internacional de Minería. Vol. I. León. España, pp. 307-332

BAKEWELL, P. (1988). Plata y empresa en el Potosí del siglo XVII. Ed. Diputación Prov. Pontevedra.

BARBA, A. A. (1640). Arte de los metales. Lib. París-Valencia. Copia facsímil. 1993. Valencia. España.

BETHELL, L. (Ed.) (1990). Historia de América Latina. Cambridge University Press. Ed. Crítica. Barcelona.

CASTILLO, M. y LANG, M.F. (1995). Metales preciosos: unión de dos mundos. Ed. Muñoz Moya y Monraveta. Sevilla-Bogotá.

DUQUE, L. (1982). Museo del oro. Colombia. Ed. Delroisse. Bogotá. Colombia.

ESPINOSA, A. (1994). Datos sobre la explotación y el beneficio de los metales preciosos en Nueva Granada en la época colonial. En Minería y Metalurgia. Ed. Muñoz Moya y Monraveta Editores. Sevilla-Bogotá, pp. 483-503.

EZQUERRA, R. (1970). Problemas de la mita de Potosí en el siglo XVIII. VI Congreso Internacional de Minería. Vol. I. León. España, pp. 483-512.

GAMBOA, F.J. (1761). Comentarios a las Ordenanzas de Minas dedicadas al catholico Rey, Nuestro Señor D. Carlos III (que Dios guarde), siempre magnánimo, siempre feliz, siempre augusto. Ed. facsímil. I.G.M.E. Madrid

HABASHI, F. (1992). Chemistry and Metallurgy in the American Indian empires. CIM Bull. Vol. 85, nº 965, pp. 103-108.

LOHMANN, G. (1970). La minería en el marco del Virreinato peruano. VI Congreso Internacional de Minería. Vol. I. León. España, pp. 639-656.

MARTINEZ, P. S. (1970). La minería rioplatense en el último tercio del siglo XVIII. VI Congreso Internacional de Minería. Vol. I. León. España, pp. 399-452.

PEREZ, C. (1970). Las minas en los grandes geógrafos del período hispánico. VI Congreso Internacional de Minería. Vol. I. León. España, pp. 295-306.

PLAZAS, C. y FALCHETTI, A.M. (1983). La orfebrería prehispánica de Colombia. Museo del Oro. Banco de la República. Bogotá. Colombia.

PUCHE, O. y AYALA, F.J. (1995). Notas sobre minería y metalurgia españolas en la época del Imperio. Bol. Geol. Min. Vol.106-2, pp. 82-94.

RAMOS, D. (1970). Ordenación de la minería en Hispanoamérica durante la época provincial (Siglos XVI, XVII

y XVIII). VI Congreso Internacional de Minería. Vol. I. León. España, pp. 373-398.

SERRANO, C. (1997). Mining in the Cerro Rico of Potosí. Some technological considerations. XX Cong. Int. Historia de las Ciencias. Lieja. Bélgica.

SERRANO, C. (en prensa) Religión, religiosidad e Iglesia en las actividades productivas potosinas.

Original recibido: Junio 1998.
Original aceptado: Septiembre 1998.

LOS MUSEOS DEL ORO EN EUROPA.

Por O. PUCHE RIART (*) y E. ORCHE GARCIA (**)

R E S U M E N

Desde que en 1967 se funda el Museo de Jilove, dedicado al oro, en Checoslovaquia, han surgido otras iniciativas similares en numerosos países europeos, tal es el caso de Austria, Alemania, Finlandia, Francia, Hungría, Inglaterra, Italia, Noruega o Rumanía, entre otros. A lo largo del texto siguiente estudiamos las características de cada uno de estos países, pensando en cubrir la necesidad de uno o varios museos de este tipo en España.

La idea de incentivar a alguien en la activación de un Museo como elemento de difusión cultural, se engloba en un programa más general, planteado desde la SEDPGYM, ya que nos interesamos por el tema oro como patrimonio histórico minero, dentro de una programación anual. Se han organizado o se está en curso de ello: excursiones de bateo y a minas de oro, una exposición, un seminario, publicaciones específicas, así como un campeonato nacional de bateo aluvial. Se participa asimismo en diversos proyectos de investigación en relación.

Palabras clave: Oro, Bateo, Museos, Europa.

A B S T R A C T

Since 1967 when the museum of Jilove, dedicated to the gold, has been founded in Czechoslovakia, other similar initiatives appear in numerous countries as Austria, Germany, Finland, France, Hungary, Great Britain, Italy, Norway or Rumania among others. Along the text below we study the characteristics of each of these countries always thinking about the needs in one or various museums of this kind in Spain.

The idea to incite someone in the creation of a museum as part of cultural diffusion included in a general programme which was presented by SEDPGYM as we are interested in the subject gold as national mining heritage within an annual plan. The following activities were organized or are in course of being organized: to go on a goldpanning trip or to visit gold mines, to visit an exposition, a seminar, specific publications as well as a national championship of goldpanning. In the same way we participate in several projects of investigation related to it.

Key words: Gold, Goldpanning, Museums, Europe.

REPUBLICA CHECA

En Jilove, República Checa, a treinta kilómetros de Praga, tenemos el museo más antiguo de Europa en relación al tema oro. Se montó en 1967, cuando dejaron de tratarse las menas de oro de Bohemia. Como muchas de estas cuencas, datan de época romana; en concreto se inició la explotación de filones de oro en el siglo I, pero las primeras referencias escritas datan del siglo

X. Las viejas escombreras medievales fueron descubiertas cerca de la Mina Pepr, en Jilove, así como pozos muy antiguos. Hay autores que piensan que el sistema de desagüe local fue el mejor de todos los distritos mineros de dicho país. Hasta ahora se han conservado también algunas viejas construcciones mineras de superficie (WASEK, J., 1994).

El museo presenta una importante colección de muestras de oro nativo aluvionar, así como numerosos documentos y objetos antiguos relativos a las explotaciones locales.

(*) Univ. Politécnica de Madrid - INHIGEO.

(**) Univ. de Vigo.

FINLANDIA

Los primeros datos sobre el oro en Finlandia, proceden del área de Lemmenjoki, hacia 1870. A principios de siglo había unas 60 concesiones en los arroyos tributarios del río Lemmenjoki. Hacia 1950, existían en la zona unos 200 registros mineros, donde los operarios trabajaban lavando aluviones. La tradición, aunque muy disminuida, ha continuado hasta hoy, pero ya sólo se realiza una explotación lúdica del bateo, en el marco espléndido del Lemmenjoki National Park (ANONIMO, 1994a).

Unos 250 km al Norte de Rovaniemi, al Norte del Círculo Polar Ártico, existía ya hacia 1970 una oferta turística de bateo de oro, en las cercanías de Tankavaara, población situada en el corazón de la cuenca aurífera Lapona. Esta actividad fue puesta en marcha por dos veteranos de Lemmenjoki, YRJÖ KORHONEN y NIPA RAUMALA. Al principio crearon una cafetería aprovechando un viejo bungalow donado por un bateador local, TAUNO VIRTANEN. Los visitantes crecieron, demandándose mejores servicios, por lo que se creó la Tankakulta Company, para recrear la atmósfera de los viejos campos de buscadores de oro, así nació la Gold Village. Dentro de este contexto, destacar que en 1977-78 se desmantelaría la casa de madera que inicialmente había servido como sede de la Lapin Kulta, en Härkäselkä, para montarse luego pieza a pieza en Tankavaara, como museo de minerales y gemas, constituyendo una bellísima colección. Asimismo fueron recuperando materiales y equipos en relación con la minería del oro, así como documentos relativos a la historia de este metal en Finlandia. Se creó un hotel y The Old Gold Prospector Restaurant, con capacidad para más de 150 personas (ANONIMO, 1994a). En 1994, lanzaron el proyecto Golden World (Fig.-1), financiado por los Ministerios de Trabajo y Educación de Finlandia, así como por el municipio de Sodankylä, con la pretensión de exhibir la minería del oro de al menos 20 países. En octubre de 1994 contaba ya con el concurso de 22 territorios foráneos, con exposiciones permanentes relativas a California, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, China, Japón, así como de diversos países europeos, constituyendo el museo más importante del oro en Europa (ANONIMO, 1996). Este museo recibe más de 100.000 visitantes al

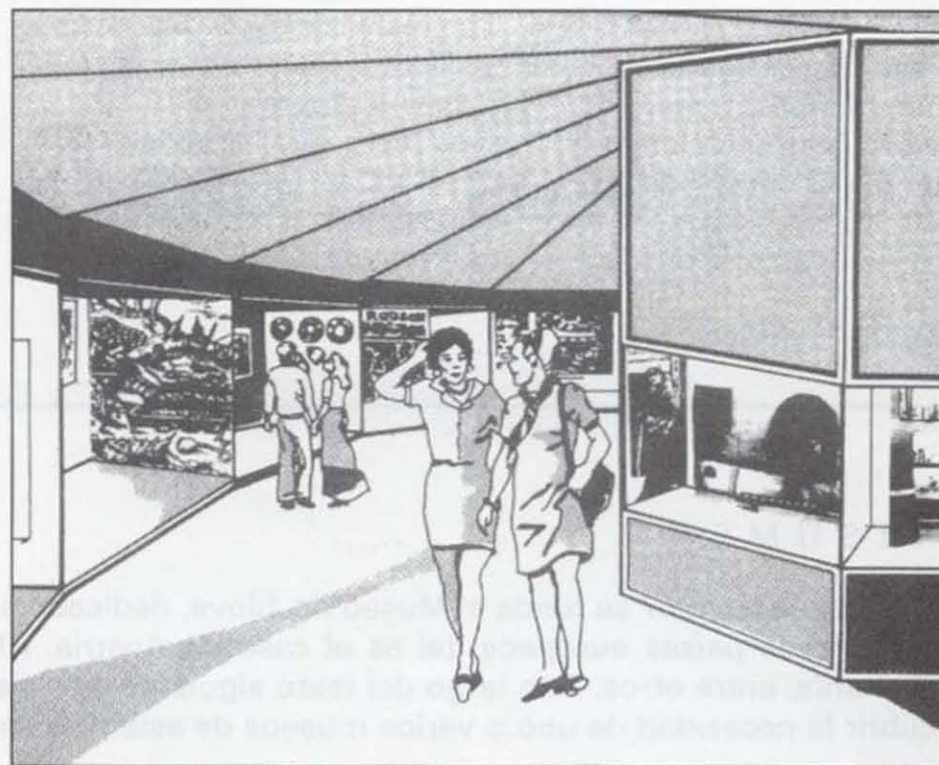


Fig. 1.

año, constituyendo la atracción turística más importante de Lapona.

En 1974, los bateadores suecos y finlandeses montaron, en Tankavaara, las primeras competiciones de bateo. En 1977 acabaron por organizar el World Goldpanning Championships (Campeonatos del Mundo de Bateo) que celebraron allí hasta 1981. Repitieron como sede en 1983, 1987 y 1993. En este último año, el patrocinador oficial fue IBM-Internacional y reunieron alrededor de 1200 asistentes, de 58 países, siendo la primera vez que participaban españoles (el periodista de viajes y aventura D. MANUEL CHARLON y un compañero). En Tankavaara está la sede de la Goldpanning World Association (Federación Mundial de Bateadores de Oro) que es la que organiza los campeonatos. Esta asociación cuenta con dos representantes por país y se reúne una vez al año, con ocasión del Campeonato del Mundo.

ITALIA

Los celtas iniciaron la explotación de los depósitos aluviales de oro del Valle d'Orba (Alessandria), utilizando impresionantes sistemas hidráulicos. Los restos de estos trabajos se muestran hoy en día como apilamientos de sedimentos lavados ("murias", en terminología romana), cerca de las ruinas de la legendaria ciu-

dad imperial de Rondanaria, conocida por la minería del dorado metal (población que fue destruida a finales de la Edad Media por GUGLIELMO DI MONFERRATO). Asimismo, en Vigevano (Pavía), 35 km al SO. de Milán y unos 75 al N. de Silvano d'Orba, se encuentran los depósitos aluvionares del río Ticino, explotados desde la prehistoria y mencionados por PLINIO en el siglo I, los cuales llegaron a su máxima importancia en la Edad Media. En el siglo pasado fueron explotados por la Sociedad de los Placeres de Oro del Valle d'Orba, de la familia BIFIGNANDI, que presumía de la posesión de esta concesión desde los tiempos de FEDERICO BARBARROJA.

En los años setenta se realizó una prospección de yacimientos primarios de oro en el valle de Gorzente, de los placeres aluviales del río Orba y en general de la provincia de Alessandria, en el Norte de Italia. De estos trabajos surgió una importante colección aurífera y a partir de ella se fundaría, en 1987, el Museo Storico dell'Oro Italiano (Fig.-2), en Predosa, gracias al interés del geólogo Dr. GUISEPPE PIPINO. Por aquellos tiempos, se extendieron los estudios a lo largo de toda la cuenca del río Po, así como por otros lugares de Italia, consiguiéndose nuevos materiales.

Los responsables del Museo han logrado aunar importantes colecciones minerales sobre Italia, así como numerosos objetos, mapas topográficos, acciones mineras (del siglo pasado y de los primeros años de este siglo), una rica muestra

bibliográfica (con libros desde el siglo XVII), fotografías y documentos (los más antiguos del siglo XVI). El Museo está compuesto por dos largas salas: en la primera aparecen ilustrados los depósitos primarios de oro de toda Italia, en la segunda las muestras aluviales del valle del Po (PIPINO, G., 1994).

El Museo organiza también campeonatos y exhibiciones de bateo, especialmente en el río Orba, cerca de Predosa. En dicha Institución está la sede de la Federazione Italiana di Cercatori d'Oro, que agrupa a las siete asociaciones de bateadores italianas. Entre el 23 y el 31 de agosto de 1997 organizaron el Campeonato del Mundo de Bateo, en Vigevano, que parece ser reunió a más de 4.000 asistentes (OREA, I., 1997a), Italia ya tenía experiencia, porque había organizado el Campeonato del Mundo de 1985.

Un poco más al Norte, en los Alpes Occidentales tenemos la mina de oro de La Guía, cerca de Boca de Macugnaga, en el Valle de Anzasca, Novara. Se trata de un yacimiento filoniano alpino del distrito aurífero de Monte Rosa. Estas labores fueron abandonadas en 1926. La idea de recuperar la mina con fines culturales y recreativos fue propuesta por ANGELO BASALETTE et al., logrando rápidamente la rehabilitación de la galería principal (Fig.-3) y de algún transversal, dotando las instalaciones de iluminación, así como con algunos instrumentos de trabajo de los mineros. En el exterior se hicieron gestiones para traer agua del río Quarazza y poner en funciona-

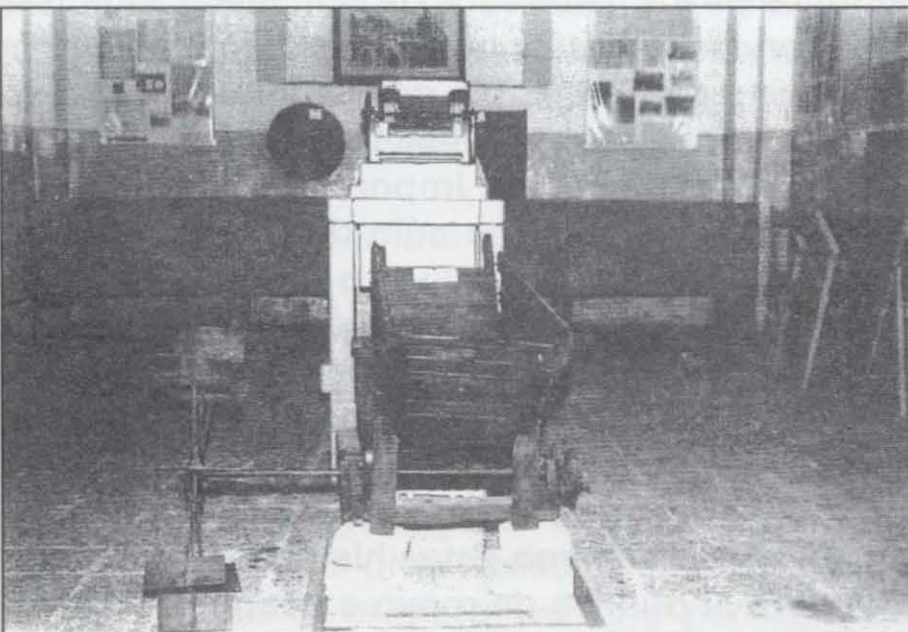


Fig. 2.

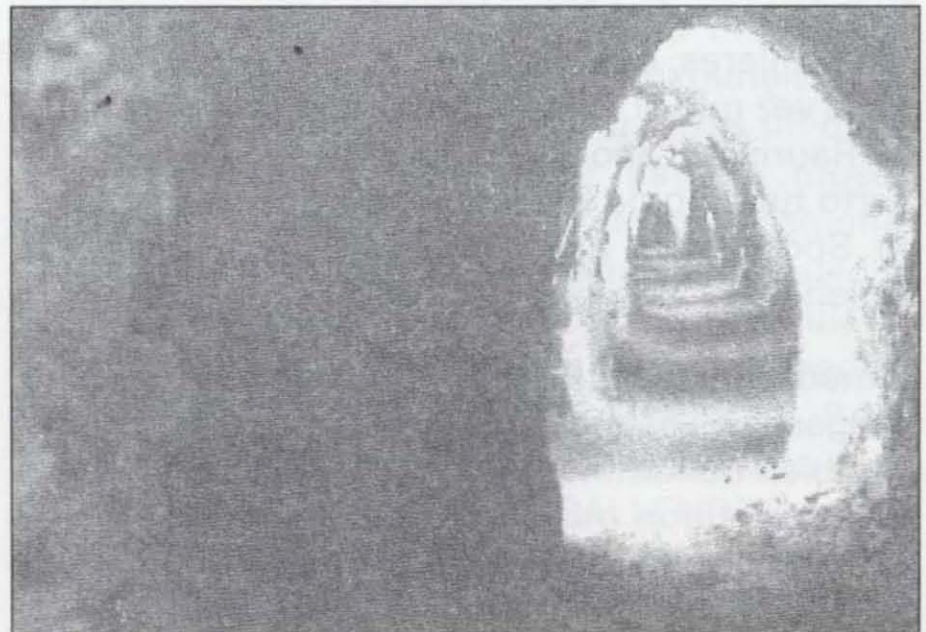


Fig. 3.

miento un molino de amalgamación. También se instaló una pequeña línea de vagonetas. Asimismo en las proximidades de la entrada se dispuso una casa prefabricada de madera, donde se exponen minerales, pequeños objetos de artesanía local, así como un mapa de las minas (CATTIN, M. y ZUBRIGGEN, P., 1994).

En Boca de Macugnaga, se guarda una rica documentación minera en la Casa Museo Walser. Allí se albergan los fondos bibliográficos del Ingeniero R. BRUCK, director de las minas de Pestarena (a las que pertenecía la de La Guia) entre los años 30 y 40 (CATTIN, M. y ZUBRIGGEN, P., 1994).

AUSTRIA

Rauris, la antigua Gaisbach céltica, tuvo ya minería del oro con los pueblos de los campos de urnas. Prosiguió la explotación con los romanos y luego en diversas épocas, finalizando las labores a principios de siglo (CARREÑO, J.G., 1994).

El Museo de Rauris, podríamos clasificarlo como etnográfico, ya que recoge los diferentes aspectos culturales e históricos de la región. En este contexto, presenta numerosas muestras, documentos y espectaculares instrumentos relativos a la explotación de oro en el valle de Rauris, Estado Federal de Salzburgo.

Los austriacos organizaron aquí el Campeonato del Mundo de Bateo, que se inició el 28 de agosto de 1994, con la participación de 60 países. En Austria ya se habían celebrado otras competiciones similares, en Heiligenburt, en 1982 (fue la primera vez que el campeonato salió de Finlandia) y en Rauris, el año de 1986. Hoy en día, hay un cierto turismo de batea organizado, tal es el caso de Sportalm y Heimalm, en Rauris, así como Bodenhaus, algo más al Sur.

A media hora de Rauris, por carretera, cerca de Badgastein, está la mina Gasteiner Heilstollen (también denominada Mina de la Salud). Se trata de una antigua mina de oro, excavada a finales de la Segunda Guerra Mundial y de la que se extrajo poco metal. Actualmente se ha convertido, por su ambiente caluroso y seco, en un lugar especial, a modo de balneario, para curar

enfermedades reumáticas, asmáticas e incluso alérgicas. Tras la inspección médica correspondiente se accede en bañador y albornoz al interior de la montaña, en un trenecillo que discurre por el socavón principal, el cual realiza cuatro estaciones, donde cada uno para o no dependiendo de su estado físico, recibiendo el impacto de ese especial ambiente (CARREÑO, J.G., 1994).

FRANCIA

Entre el Sur del Limousin, el NE. del Haute-Vienne y el Oeste de La Creuse, hay más de 200 minas de oro antiguas. Parece ser que las explotaciones del Limousin datan de época gala, unos 150 años a.C., aunque algunos autores las consideran más antiguas (400 años a.C.). La explotación de arenas auríferas prosiguió con los romanos, durante la Edad Media y Edad Moderna, hasta el siglo XVIII. A partir de 1905 se inicia una febril explotación filoniana en La Creuse y en Haute-Vienne, hasta 1955 (produciendo en medio siglo 20 Tm de oro). Después de 1982 los mineros de La Creuse se instalaron en el Limousin-Sur de Haute Vienne y actualmente son reexplotados cuatro yacimientos en la zona de Saint-Yrieix-la-Perche, por la Sociedad de Minas Bourneix, filial de COGEMA. Esta comarca, con una producción media de 2.000 kg de oro anuales, se ha convertido en la primera región aurífera de Francia. Un folleto ilustrando los principales descubrimientos arqueológicos relativos a las minas de oro galas ha sido editado por la Association Culture et Patrimoine du Limousin (CAUJET, B., 1996).

Algunos de los resultados de la investigación histórica en las minas de oro de la zona mencionada se muestran en el Musée de l'Or (Fig.-4), ubicado en la localidad de Jumilhac-le-Grand, Dordogne. El Museo expone una importante colección de minerales y pepitas (no sólo de las regiones de Limousin, Haute-Vienne y La Creuse, sino de Francia y del Mundo entero), así como lingotes, documentos, fotos, máquinas e instrumentos diversos, de diferentes épocas. También se muestran las técnicas de extracción metalúrgica y de afino del oro, las aplicaciones industriales o artesanales, así como datos históricos. El Museo, que abre al público de mayo a octubre, está instalado en el marco privilegiado de un castillo, con grandes salas abovedadas (FOLCH, J.P., 1996).

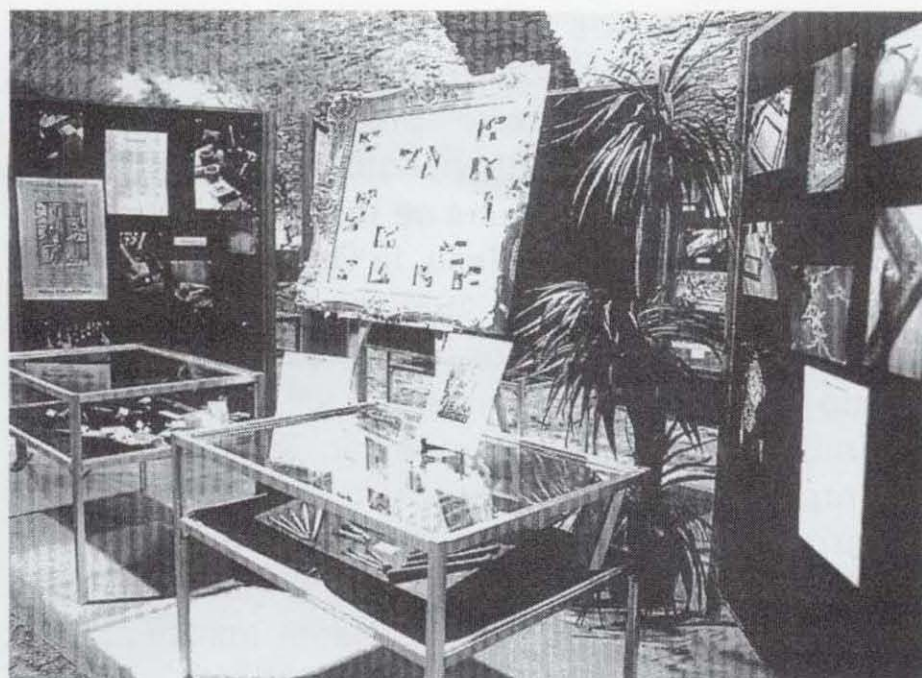


Fig. 4.

Asimismo el Centre Historique Minier de Lewardè, principal museo minero galo y dedicado al tema del carbón, ha organizado una Exposición itinerante sobre las minas de oro y el bateo, que consta de paneles didácticos, muestras, objetos y documentos. También se realizó una exposición temporal, del 14 de marzo al 15 de julio de 1986, denominada L'Or en la Cité des Sciences et de l'Industrie de París, promovida por BRGM, CLAL y Or-Information. Los organizadores pretendían que el público comprendiese que el oro es una materia prima industrial de primer orden, irremplazable en numerosas aplicaciones tecnológicas, desde el espacio a la TV, pasando por la electrónica y la informática. La exposición contó con siete sectores: La mina y el tratamiento de los minerales. La metalurgia del oro. Las aplicaciones industriales. La artesanía. El oro en la moda. Las técnicas antiguas. La minería antigua y la Alquimia. La muestra ocupó una superficie de 700 m² (GENTILHOME, Ph., 1986).

Del 4 al 10 de septiembre de 1995, se organizó en el lago de Saint-Pardoux (Haute-Vienne) el Campeonato del Mundo de Bateo, bajo la dirección de la Fédération Française d'Orpaillage, creada en 1986 a iniciativa de tres bateadores aficionados: PIERRE CHRISTIAN GUIOLLARD, PHILIPPE RIVIERE y FRANÇOIS VACQUIE. En este campeonato hubo unos 3.000 asistentes de 65 países, siendo la primera vez que participaron españoles en la competición por equipos (se trata de nuestros amigos de la Asociación Española de

Buscadores de Oro (AEBO), de Cantabria). Los franceses ya habían organizado los campeonatos de 1988, en Foix (Ariège).

INGLATERRA

Las minas de oro de Dalaucothi, en Pumsaint, Llanwrda, Dyfed, al Sur de Gales, fueron explotadas por los romanos hace 2000 años y han prosiguído en funcionamiento hasta 1938. Hoy en día son propiedad del National Trust, que tras asegurar su seguridad ha organizado visitas turísticas de interior, donde cada visitante recibe un casco con lámpara de minero. En el exterior, a parte de tiendas y centro de vistas, se enseña el manejo de la batea.

Las minas Gwynfynydd Gold, situadas cerca de Dolgellau, se encuentran en una de las más bellas y apartadas zonas del Norte de Gales, en concreto en el Mawdach Valley. Su explotación se inició hacia 1860, siendo una de las más ricas minas de oro de Gran Bretaña, con la producción 40.000 onzas desde su descubrimiento. A principios de siglo estas minas empleaban cerca de 500 hombres. Hoy en día prosigue la producción, extrayéndose el mineral con moderna maquinaria. Tras los procesos de concentración en el interior y posterior refinado en el exterior, el oro se trabaja y vende en joyas elaboradas por artesanos locales, en Welsh Gold, tienda situada en el Centro de Visitantes de Dolgellau. En 1993 estas minas ofrecieron también la posibilidad de visitar sus labores subterráneas, pudiéndose ver los tajos, escuchar los bramidos de la maquinaria trabajando e incluso pasar por la experiencia de escuchar el tronar de una voladura, tras un duro recorrido. En el exterior hay un museo donde se exhiben fotos, documentos, maquinaria, muestras minerales, etc. También se pueden observar los minerales con la lupa binocular y aprender a batear. El visitante recibe de regalo una muestra mineral con oro (CALLENDER, R.M., 1994 y ANONIMO 1994b). Existe una historia de estas minas escrita por RON CALLENDER, editor de la revista Golden Times.

En Wanlockhead, Escocia, se celebraron los campeonatos del Mundo de 1992.

ALEMANIA

En Goldkronach y Brandholz hubo explotaciones de oro medievales (siglo XII) que han persistido hasta el siglo XX.

El museo del oro de Goldkronach no sólo muestra piezas minerales y útiles antiguos, sino la posibilidad de visitar una galería antigua (GUIOLLARD, P.C., 1995).

La mina aurífera Schmutzlerzeche no se tocaba desde los años veinte, pero en 1981 con el apoyo del Naturparkes Fichtelgebirge, y mediante una inversión de 16.000 marcos, se entibó la entrada, se instaló una berja (Fig.-5) y se habilitó una senda de acceso por el bosque. En 1985 se desaguó el pozo, generándose un socavón transitable para los visitantes.

En Goldkronach se han organizado asimismo algunos campeonatos nacionales de bateo libre.

NORUEGA

Las minas de oro de Lykling, en la isla de Bømlo, son una popular atracción turística. Un chico encontró una gran pepita, en 1862, apareciendo

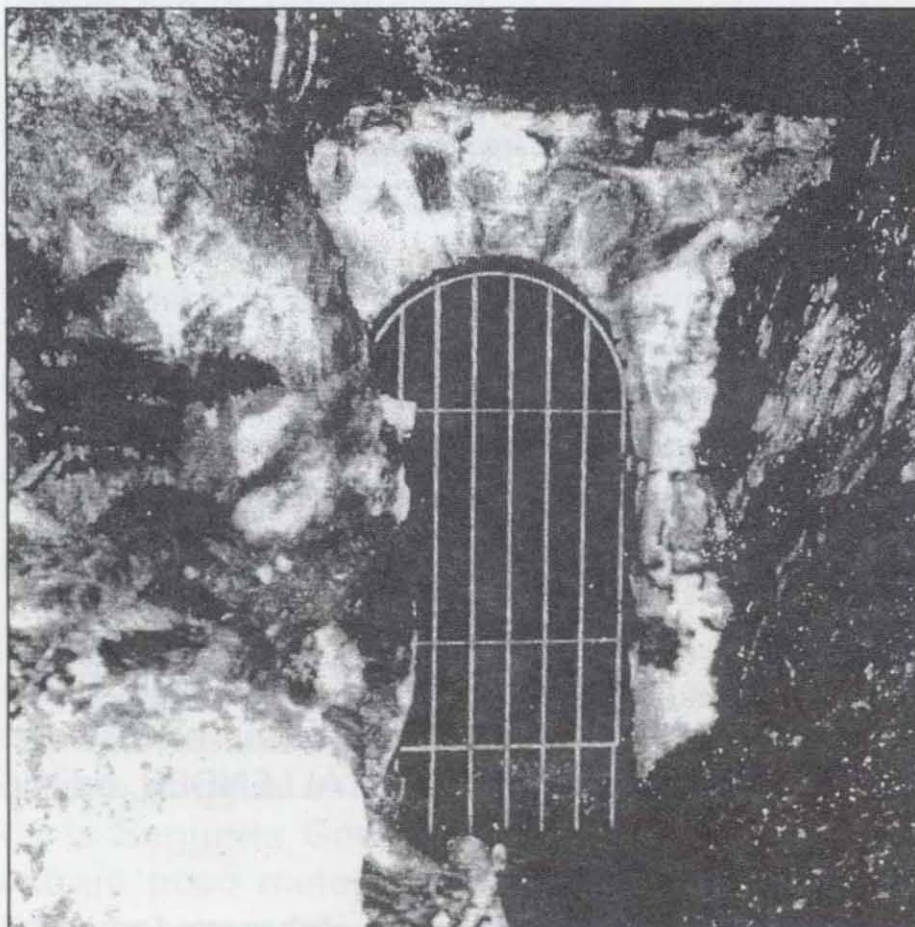


Fig. 5.

enseguida algunos buscadores de oro. En 1883 tras el descubrimiento del preciado metal en Storhougen Grube, que proporcionó grandes ganancias a sus dueños, desató una auténtica fiebre del oro. Poco después se instalaría en la zona una gran compañía inglesa, la Oscar Gold Mining Company Ltd., que en 1886 se había hecho ya con casi todas las concesiones de la zona, realizando una fuerte inversión. Las minas fueron definitivamente abandonadas en 1898, arrasando la empresa las instalaciones, tras extraer 137 kg de oro, cantidad de valor muy inferior a los costes generados. Aunque la investigación prosiguió, de forma intermitente, hasta los inicios de la II Guerra Mundial (ANONIMO, 1995). Actualmente existe un turismo organizado por THOR AUDUN LARSEN; se hacen prácticas de bateo, se pueden reconocer los antiguos restos mineros, así como visitar galerías subterráneas y un pequeño museo, etc. (Fig.-6).

SUECIA

En Suecia hay una tradición de bateo importante, pero nosotros sólo tenemos noticias del Centro de Bateo de Ädelfors, abierto al público en temporada estival (28 de junio-17 de agosto).

En esta zona se descubrió oro hace unos 250 años y se ha trabajado en ella de forma regular. Fueron las primeras minas suecas de oro, que sepamos. El metal se concentraba y lavaba en las aguas del río Emán, en Ädelfors. En este río aurífero hoy en día se practica turismo de batea, ya que se ha instalado en sus orillas el Centro antes mencionado. Las bateas se alquilan, recibiendo lecciones por parte de expertos. El oro concentrado es para el visitante.

El lugar cuenta con un café, un gran almacén de útiles de bateo llamado Guldströms (puede que sea el mayor de Europa), así como zonas de camping económico y de "grill". También es posible visitar las minas del área.

HUNGRÍA Y OTROS PAISES DEL ESTE

La organización no gubernamental Association for Local and Regional Development, de Debrecen, Hungría, preocupada por la preserva-



Fig. 6.

ción del Patrimonio Minero, así como por el desarrollo, del pequeño pueblo, de raíces mineras, de Telkibánya y de sus alrededores, organizó en el verano de 1996 un grupo internacional de trabajo en este sentido. Esta región que carece de infraestructura industrial, muestra sin embargo una naturaleza privilegiada, así como una interesante arquitectura popular. Telkibánya es asimismo conocida por su minería medieval del oro, aunque las labores fueron iniciadas por los romanos. En la actualidad existe un Museo Minero y en las montañas próximas hay muchos minados, que fueron abandonados hace unos 50 años, así mismo existe una vieja explotación situada en el mismo pueblo. Entre otras labores, el grupo de trabajo preparó el acceso de una de estas minas para visitas.

En 1997, esta ONG contactaría con D. JOSE MARIA MATA y con D. OCTAVIO PUCHE, para presentar un proyecto europeo: The development of the preservation and enhancement pro-

gramme of medieval european gold mining heritage, con la participación de finlandeses, alemanes, eslovacos, ingleses, húngaros y españoles; estando pendiente su resolución.

Asimismo tenemos noticias de la creación de un Museo de Minería del oro, con sede en Brad. En este país destacar la región rumana de Transilvania, donde hubo explotaciones romanas, aunque su auge se produjo con el reinicio de las labores a finales del siglo XIX.

PROPUESTAS PARA ESPAÑA Y PORTUGAL

En nuestro país el yacimiento más clásico es el de Las Médulas, situado unos 25 km al Sur de Ponferrada, en la provincia de León. Se trata de un paisaje acarcavado generado por las explotaciones romanas de oro. Fue declarado Monumento Nacional, en 1931. El Ministerio de Cultura, hace unos años, planteó un Plan Nacional para crear Parques Arqueológicos, encargando al equipo dirigido por el arqueólogo D. JAVIER SANCHEZ-PALENCIA RAMOS el estudio de esta zona. Al transferirse dichas competencias pasó la solicitud, para la creación del Parque, a la Dirección General de Patrimonio y Protección Cultural de la Junta de Castilla y León. La Junta desarrolló un Plan Director para la protección integral del yacimiento (PUCHE, O. y MAZADIEGO, L.F., 1997). Posteriormente el Ministerio de Cultura propuso a la UNESCO que fuese declarado Patrimonio de la Humanidad, logrando dicho objetivo en 1997. Desde el mirador de Orellana se obtiene una amplia vista del conjunto, apreciándose tanto los desmontes, como la red hidráulica (canales y embalses), así como diversos asentamientos arqueológicos. También se observa una galería horizontal o socavón, salida natural de las aguas, que eran introducidas por una galería vertical o pozo, y mediante el golpe de ariete producido lograban el derrumbamiento del frente de explotación, método denominado por los romanos "ruina montium". Estos materiales arrancados eran lavados en la parte inferior, en unos canales llamados "agogae". Los sedimentos producidos cerraron la cuenca constituyendo el lago de Carucedo. En la zona se pueden visitar otros restos arqueológicos en relación.

Recientemente se ha creado una Ruta del Oro desde Astorga, propiciada por su Ayuntamiento, para visitar una serie de yacimientos y vestigios arqueológicos de la zona.

Asimismo en Asturias, con numerosos yacimientos de oro, se recoge en parte el tema en el aula didáctica del Castro de Coaña, en relación con los descubrimientos del Parque Arqueológico del Navia. Se exponen mapas de asentamientos humanos y minas de oro. Asimismo hay una sección técnica donde se muestra: 1. El desarrollo de las explotaciones, mediante su señalización en foto aérea. 2. Técnicas de laboreo, indicando la importancia del agua en el arranque, transporte y lavado de materiales. 3. Técnicas de concentración mineral y de refino.

En Asturias ha habido también alguna pequeña iniciativa conservacionista en la zona de Navelgas, donde existe una pequeña agrupación local de bateadores denominada Asociación de Buscadores de Oro de Asturias "Barciaecus", que data de 1997 (ANONIMO, 1997b). El Gobierno del Principado de Asturias quiere recuperar los yacimientos auríferos romanos con fines turísticos, estando prevista la creación de una Ruta del Oro, que discurriría desde la Cornisa Cantábrica hasta Portugal, pasando por León y Zamora (ANONIMO, 1997b).

En el Sureste de España destacar el yacimiento de Rodalquilar en relación con el Parque Natural del Cabo de Gata, Almería, bajo la custodia de la Junta de Andalucía.

En los últimos tiempos aparte de "Barciaecus", han aparecido dos asociaciones de bateadores: la Asociación Española de Buscadores de Oro (AEBO), fundada en 1996, con sede en Santander, y el Club Español de Bateadores de Oro Aficionados (CEBA) en relación con el Grupo Mineralogista de Madrid, puesto en marcha bajo la dirección de D. IÑIGO OREA en 1997.

A finales de 1996 planteamos, en la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM), el desarrollo de un Campeonato de España de Bateo. En marzo de 1997, en Camarasa, la Asamblea General de la

Sociedad decidió la celebración del 1º. Certamen Nacional de Bateo, modalidad libre, que se llevará a cabo, en Navasfrías, Salamanca, los días 4-5 de julio de 1998, bajo la dirección de D. OCTAVIO PUCHE y D. IÑIGO OREA, contando con la colaboración de GMM-CEBA, AEBO, BARCIAECUS, ASAM, GMG, AMYP, Opalo Noble, Instituto Gemológico Español, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Asociación Nacional de Ingenieros de Minas, Departamento de Ingeniería Geológica de la U.P.M., Ayuntamiento de Navasfrías, ITGE, etc. Esta actividad se enmarca dentro de otras en relación, como excursiones para aprender a batear, visitas a minas históricas y actuales, la Exposición "La Fiebre del Oro" (ya desarrollada en la Escuela de Minas de Madrid, 13-17 de abril de 1998, y que será instalada en Aranjuez, Cartagena, Almadén, Manresa y Lisboa), así mismo tenemos el Seminario "El Oro en España" (Fundación Gómez Pardo, Madrid, 28-29 de mayo de 1998), que ahora celebramos, etc. En 1999 el 2º Certamen Nacional de Bateo se desarrollará en el río Segre, entre Camarasa y Balaguer, zona donde hubo explotaciones aluviales de época árabe.

En Portugal, según el Journal Diário de Notícias de Lisboa, del 30-III-98 (que nos remite D. ALFREDO TINOCO, de APAI) se da noticia de las antiguas minas de oro romanas de Três Minas en Vila Pouca de Aguiar, en Trás-os-Montes, al Norte del país. Se pretende que estas minas, que cuentan con una antigüedad de 2000 años, se conviertan en un museo. Mediante dos presas, acueductos y túneles (Fig.-7) los mineros traían el agua desde el río Tinhela, situado a 4 km de distancia, para realizar las labores de arranque a cielo abierto, así como el posterior lavado. El lugar se caracteriza por un paisaje de gran belleza (MANGAS, F. y FONTE, J., 1998).

CONCLUSIONES

La mayor parte de estos museos se corresponde con zonas donde ha habido minas históricas de oro. La mayoría son de época romana, habiendo funcionado muchas de ellas hasta nuestros tiempos, aunque algunas son anteriores, y bastantes del siglo XIX o del XX (Ver cuadro 1).

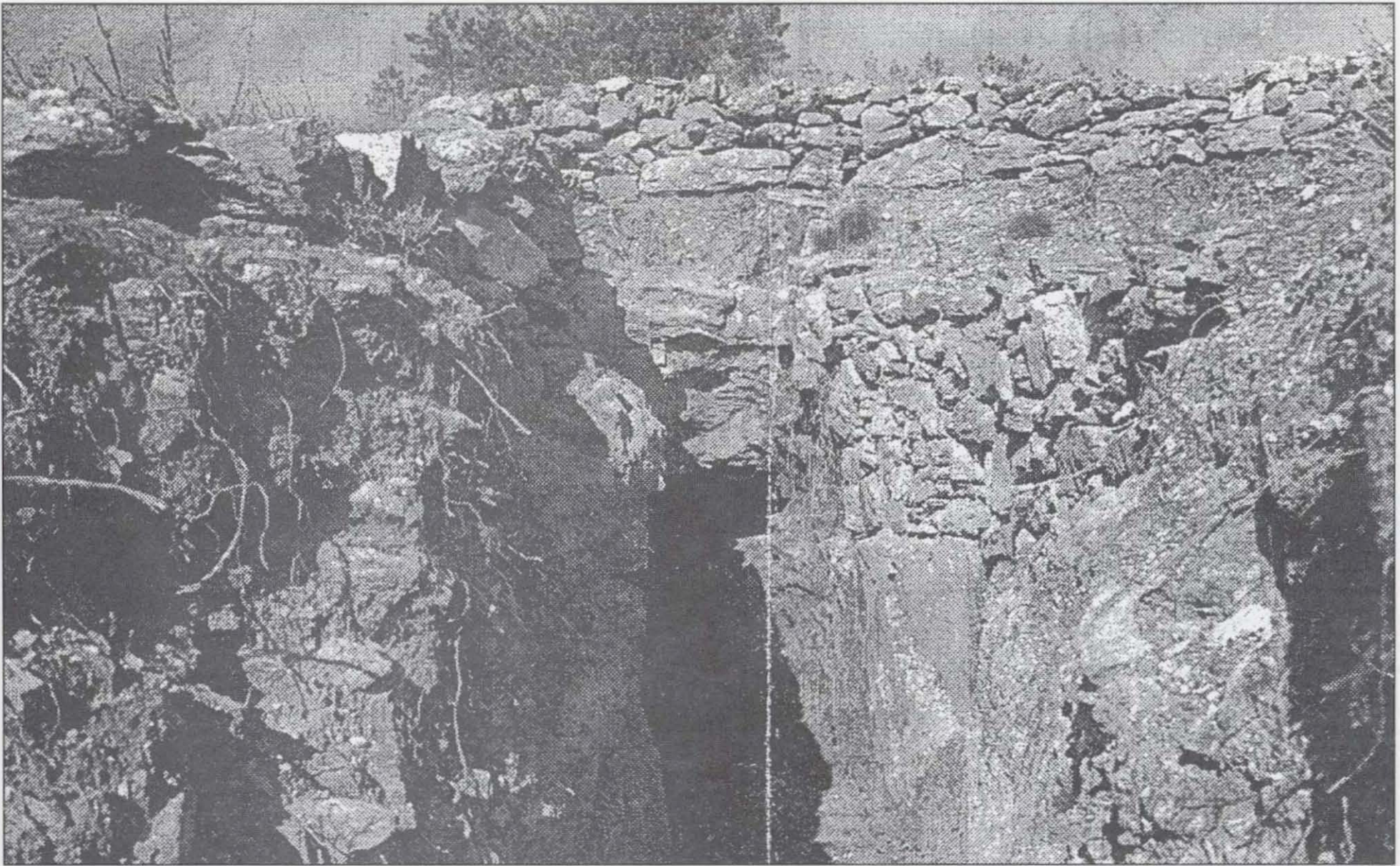


Fig. 7.



Fig. 8. Distribución museos y parques tema oro.

Su atractivo principal suele ser la instalación de un museo que a veces organiza cursos y campeonatos de bateo. Sólo ocasionalmente es posible visitar instalaciones subterráneas e instalaciones de exterior (Ver cuadro 2).

Se han estudiado cerca de veinte iniciativas, dos españolas. Pero siendo nuestro país el más importante de Europa en cuanto a esta minería, cabrían más actuaciones. D. IÑIGO OREA propuso en la I Sesión Científica de la SEDPGYM, celebrada en Almadén, Ciudad Real, en octubre de 1996, el desarrollo turístico, aprovechando el tema del oro, de Navasfrías (Salamanca), Navelgas (Asturias) y Nava de Jadraque (Guadalajara) (OREA, I., 1997b). Estas sugerencias podrían hacerse con algún otro municipio de Galicia, Cataluña o Extremadura. Nosotros ahora estamos estudiando esta posibilidad en Madrid, como anexo a un Proyecto de Inventario del Patrimonio Minero de la Comunidad de Madrid,

CUADRO-1
EPOCA DE LAS EXPLOTACIONES

Epoca/Mina	Pre-rom	Rom.	Mediev.	Moder.	Contem.	Act.
Jilove		x	x	x	x	
Lemmenjoki					x	x
Tankavaara					x	
Predosa	x	x	x	x	x	
B. Macugnaga					x	
Rauris	x	x	x	x	x	
Badgestein					x	
Limousin	x	x	x	x	x	x
Dalaucothi		x	x	x	x	
Gwynfynydd					x	x
Goldkronach			x	x	x	
Lykling					x	
Telkibánya			x	x	x	
Brad		x	?	?	x	
Ädelfors					x	x
Três Minas		x				
Las Médulas		x				
Asturias		x	?	?	x	x

dentro de la Convocatoria de Humanidades y Ciencias Sociales de la Consejería de Cultura de la Comunidad de Madrid (PUCHE, O.; MAZADIEGO, L.F. y GARCIA CORTES, A.).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Profesor D. RICARDO CASTRO-VIEJO, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, y a Dña. SONIA PRIETO, la traducción de algunos temas en alemán.

REFERENCIAS

(1) ANONIMO (1994a). Finland's goldfields. Golden Times, 2/94, 15.
(2) ANONIMO (1994b). Tour of the Gwynfynydd Mine. Wale's worcking World Mine. Golden Times, 2/94, 16-18.
(3) ANONIMO (1995). Gullrush. Somar på Bømlø 1995, 16.

CUADRO.-2
CARACTERISTICAS DE LOS MUSEOS.
(INSTALACIONES/ACTIVIDADES)

Instal/Mina	Mina	Museo	Bateo	Inst. Exter.
Jilove		x		x
Lemmenjoki			x	
Tankavaara		x	x	
Predosa		x	x	
B. Macugnaga	x	x		x
Rauris		x	x	
Badgestein	x			x
Jumilhac		x		
Dalaucothi	x			x
Gwynfynydd	x	x	x	x
Goldkronach	x	x	x	
Lykling	x	x	x	
Telkibánya	x	x		
Brad		x		
Ädelfors	x		x	
Três Minas	x			x
Las Médulas	x			x
Coaña		x		

(4) ANONIMO (1996). Golden World. Ed. Lapin Painotuote Oy. Kemijärvi.
(5) ANONIMO (1997a). Asturias quiere una ruta del oro hasta Portugal. Boletín de la SEDPGYM, 8, 23. Agost-97 (MATA, J.M. y PUCHE, O., Eds.).
(6) ANONIMO (1997b). Editorial. Boletín SEDPGYM: Número especial "El oro como Patrimonio", 9, 2-3. (PUCHE, O. y OREA, I., Eds.)
(7) CALLENDER, R.M. (1994). The fall and rise of Welsh Gold. Golden Times, 1/94, 16.
(8) CARREÑO, J.G. (1994). Fiebre del oro en Austria. Aire libre. 28-33.
(9) CATTIN, M. y ZURBRIGGEN, P. (1994). La miniera d'oro della "Guia" a Macugnaga, Valle Anzasca-Novara. Actas II Convegno Valorizzazione dei siti minerari dismessi, 177-181. Cagliari 12-14 octubre de 1994. Ed. PEI. Parma.
(10) CAUJET, B. (1996). L'explotation de l'or à l'âge du fer en Limousin. Géochronique, 57, 17.
(11) FOLC'H J.P. (1996). Le musée de l'or à Jumilhac-le-Grand (Dordogne). Géochronique, 57, 27.

(12) GENTILHOMME, Ph. (1986). L'Or première exposition temporaire présentée à la Cité des Sciences et de l'Industrie. Géochronique, 20, 28.
(13) GUIOLLARD, P.C. (19..). Guide pratique du chercher d'or en France. Ed. P.C.G.-B.R.G.M. Orleans. pág. 121.
(14) MANGAS, F. y FONTE, J. (1998). As marcas do ouro do império romano. Diario de Notícias de Lisboa, 30 de marzo de 1998.
(15) OREA, I. (1997a). Los campeonatos de bateo de oro una forma particular de competir. Bol. SEDPGYM, 9, 15-20.
(16) OREA, I. (1997b). Recuperación y difusión de la técnica de búsqueda de pepitas de oro con batea y su posible contribución a generar turismo. Actas 1ª Sesión Científica de la

SEDPGYM: Patrimonio Minero-Metalúrgico, Almadén 21-22 oct. 96, 265-272. Ed. Univ. Castilla-La Mancha, Col. Ciencia y Técnica, 15. Cuenca.
(17) PIPINO, G. (1994). Il Museo Storico dell'Oro di Predosa. Actas II Convegno Valorizzazione dei siti minerari dismessi, 218-219. Cagliari 12-14 octubre de 1994. Ed. PEI. Parma.
(18) PUCHE, O. y MAZADIEGO, L.F. (1997). Conservación del patrimonio minero metalúrgico español: actuaciones recientes, propuestas y su financiación. Tecnoambiente, 69 (Feb. 97).
(19) WASEK, J. (1994). The Czech mining history. Actas II Convegno Valorizzazione dei siti minerari dismessi, 129-130. Cagliari 12-14 octubre de 1994. Ed. PEI. Parma.

Original recibido: Junio 1997.
Original aceptado: Septiembre 1998.

MITOLOGIA DEL ORO: EL ORO Y EL SOL.

Por L. F. MAZADIEGO MARTINEZ (*) y O. PUCHE RIART (*)

RESUMEN

El oro es un metal que ha sido esencial en la historia de la humanidad. Su color y su brillo fueron los principales motivos del interés por extraerlo. Quizá esta sea también la razón de su asociación con el sol, considerado como un elemento sagrado en numerosas culturas. El oro por tanto, ha sido un metal con intensas vinculaciones con el folclore y el misticismo, como se pretende demostrar en este estudio.

Palabras clave: Oro, Sol, Folclore.

ABSTRACT

Gold is a metal which has been essential to mankind throughout history. Its colour and shine were the main reasons to extract it. Perhaps, this is also the reasons of its association to the sun, considered sacred in numerous cultures. This, gold is strongly linked to folklore and mysticism as this study will prove.

Key words: Gold, Sun, Folklore.

INTRODUCCION

Hablar del Oro es referirse a riquezas y fortunas, palacios del País de las Mil y Una Noches, amuletos mágicos y puentes tendidos al encuentro de los dioses, pero también es sumergirse en historias turbias, rencores irreconciliables, codicia y muerte. El Oro ha sido símbolo de lo sagrado, casi a modo de representación del universo de los seres sobrenaturales. Desde el principio de los tiempos, el hombre se ha sentido atraído por el oro. Los incas y los aztecas le daban un significado sagrado, cuyo simbolismo ha sobrevivido en las Iglesias cristianas. Los servicios de oro contribuían a ensalzar los banquetes de la nobleza. Los mismos Reyes Magos agasajan al recién nacido Jesús con *oro, incienso y mirra*. Incluso es de oro el becerro que idolatraron los compañeros de Moisés durante su peregrinaje en busca de la Tierra Prometida.

El objetivo de esta serie de artículos es encontrar ese vínculo Sol-Oro a través de tradiciones y leyendas de un buen número de culturas. De esta manera, tras abordar esta relación entre el

cuerpo celeste y el metal, analizaremos, en una segunda entrega, los mitos griegos, nórdicos, celtas y americanos que incluyan al Oro en sus argumentos. Finalmente, en la tercera parte, se expondrán "*los lugares de esos mitos*": Eldorado, Punt, Tombuctú, Saba y otros muchos que nos legaron los autores clásicos.

¿Qué propiedades hicieron de este metal un objeto tan querido?. ¿Qué razones impulsaron a un buen número de hombres a adentrarse en sel-



Figura 1. Oro nativo. (Foto cortesía Museo ETSIM, Madrid).

(*) E. T. S. I. Minas de Madrid

vas desconocidas, luchar contra tribus salvajes o arriesgarse a contraer enfermedades incurables?. ¿Por qué se le ha reconocido un simbolismo de perfección como el descrito en el libro bíblico de los Proverbios: *"Como el crisol de refinación es para la plata y el horno es para el oro, así es un hombre a su alabanza"*?. ¿O en Malaquías: *"Y El se sentirá como un purificador y un refinador de la plata, y purificará a los hijos de Leví, y los purgará como al oro y a la plata"*?. ¿Fue su color amarillo, tan semejante al del astro rey?. ¿Su brillo?.

EL CULTO AL SOL

M. UYLDERT (1991) afirma que *"el oro está emparentado culturalmente con el Sol; es, en el mundo de los metales, la figura central, y, por eso, la corona de los reyes ha de ser de oro porque así simboliza la energía que descende del Sol hasta el soberano. Según las tradiciones más antiguas, el rey se sienta sobre un trono de oro y sostiene en sus manos el cetro de oro -símbolo masculino- y el orbe de oro -símbolo femenino-, y serán estas creencias en las que asienten todas las tradiciones del ciclo artúrico"*.

También ahonda en esta tesis JUAN DE CARDENAS, quien, tras viajar desde su Sevilla natal a Nueva España, escribió en el 1501 su *"Problemas y Secretos Maravillosos de las Indias"* y en donde se puede leer en el capítulo que lleva el largo título de *"En que se declara la causa por que, criándose el oro en las profundas minas y ocultas entrañas de las muy altas sierras de Indias, se viene a hallar después en los ríos y costas del mar"*, que *"ningún planeta meresció con mejor título influir sobre el oro como es el Sol, pues entre todas las especies que ay de metales, ninguno con muchos quilates puede igualar al oro; y así es realmente que del sol rescibió el oro su resplandor, hermosura, excellencia y señorío sobre todos los metales (...). Entre las admirables propiedades que el sol comunicó al oro, su tan familiar y amigo, le dio una que no es propia y natural de todas aquellas cosas que tienen entre sí gran conveniencia y amistad, y ésta fue una propensa y no muy natural inclinación de no apartarse el oro de su presencia, sino seguir de ordinario la hermosura y resplandor de sus rayos (...). Es verdad cierta y averiguada que el oro,*

como otro cualquier metal, se cría en las entrañas de la tierra, aunque no en lo muy profundo, por no apartarse mucho del sol".

MIRCEA ELIADE en su *"Cosmología y Alquimias Babilónicas"* expone que en no pocos folclores mineralógicos y metalúrgicos, se entiende a la tierra como matriz; en este sentido recuerda que el término egipcio *"bi"* significa al mismo tiempo *"vagina"* y *"galería de una mina"*. Citando al libro *"Bergbüchlein"*, editado en Ausburgo en 1505, y que, según escribiera AGRICOLA en el prólogo de su *"De Re Metallica"*, fue obra de CALBUS FRIBERGIUS, un médico de mineros, afirma que *"según dicho autor, un mineral crece mejor en la medida en que participa del movimiento del astro al que corresponde. El mineral de oro nace bajo la acción del cielo, y más en concreto del sol, de manera que este mineral no contiene ya ni rastro de humor que pueda ser destruido o quemado por el fuego, ni humedad líquida que pueda evaporarse con el fuego"*.

En otro libro del mismo ELIADE, *"Alquimia Asiática"*, reproduce un párrafo de uno de los textos de alquimia más famosos de Asia, el *"T'san T'ung-ch'i"* (*"Unión de las correspondencias separadas"*), en el que se ensalza al oro como metal sagrado: *"Puesto que hasta la hierba chii-seng puede prolongar la vida, ¿por qué no tratas tú de poner elixir en tu boca?. Por su propia naturaleza, el oro no se corrompe; precisamente por eso es la más preciosa de todas las cosas. Cuando el artista (el alquimista) lo incluye en su dieta, la duración de la vida se hace eterna... Cuando el polvo dorado penetra en las cinco entrañas, la bruma se dispersa como las nubes de lluvia por el viento... Los cabellos blancos recuperan su color negro; los dientes caídos vuelven a crecer en su lugar. El viejo debilitado se convierte en un joven lúbrico; la mujer anciana derrumbada recupera su juventud. Aquel cuya forma ha cambiado y ha sabido sortear los peligros de la vida, ese tal es acreedor al título glorioso de Hombre Verdadero"*.

Los taoístas en cierto modo se vinculaban con la esencia misma de esa alquimia que buscaba el oro, no para enriquecerse sino para alcanzar la inmortalidad, la inmortalidad patrimonio de los dioses, y del Sol, como fuente de vida. El taoísmo defiende que todo se reduce a un equilibrio entre

el *"yin"* (femenino) y el *"yang"* (masculino) Cualquier cosa, animada o no, participa de esa dialéctica cósmica que sustenta el Universo entero. Además, en algunos cuerpos participa más uno u otro, lo masculino y lo femenino, si bien en determinados círculos taoístas, se creía que el *"yang"* era otra forma de llamar al *"tao"*, palabra intraducible que engloba un sinfín de posibilidades (vía, principio universal, verdad, etc.). Entonces, una sustancia, cuanto más *"yang"* tuviera, y, por tanto, más *"tao"*, más noble, incorruptible, pura y absoluta era. Y entre estas materias especiales, casi representación de las verdades insondables, de aquello que existe pero no se puede catalogar, estaba el Oro. Este metal, como representativo de la esencia del *"yang"* estaba vinculado a la claridad, la fuerza, la inmortalidad, etc. No sólo ayudaban al hombre que lo poseyera a estar mejor a nivel físico o emocional, sino que también le transmitían un sentido trascendente que le confería la armonía con el cosmos.

Según expresa ELIADE esta concepción activa de los minerales es la verdadera fuente de inspiración de los alquimistas, que, simplemente, intentan acelerar en sus laboratorios el proceso natural de transformación de los metales. El *"embrión"* que crece, madura y alcanza la perfección en el horno de fundición hasta alcanzar la perfección del oro. En la Alquimia Asiática, apunta ELIADE que *"los metales ordinarios se equiparan al alma ignorante, mientras que el oro se identifica con el alma perfectamente libre"*.

GOMEZ MORENO (1949), apoyando la tesis sugerida por GLYNN DANIEL acerca que el Oro fue el primer metal en que el hombre reparó, junto con el cobre nativo y el hierro de los meteoritos, sugiere que *"el Oro es único, entre todos los metales en presentarse naturalmente con su aspecto propio de color, brillo, ductilidad; es tan diferente a una piedra cualquiera, que abrió al hombre la noción de su valor. El sentido del color, tan despierto en el hombre primitivo, le haría ver en el Oro algo del esplendor solar; descubría perdurable en él toda aquella viveza de tonos que los seres orgánicos le presentaban de manera efímera. Además, si el cobre y la plata fueron materia útil, que ayudaba al hombre para sus labores manuales, en cambio, el oro, tan resistente, no le valía, y esta inutilidad pudo afianzarle la idea de lo simplemente bello, como las flores, codiciable*

para recreo de la vista y del tacto, codiciable también por su rareza".

El alquimista, mago y filósofo ENRIQUE CORNELIO AGRIPPA (1485 - 1535) escribió a este respecto en su *"Filosofía Oculta y Magia Natural"* que *"entre los metales, el oro, por su resplandor, recibe del Sol su virtud reconfortante (...). Si alguien escondiera oro estando la Luna en conjunción con el extremo del Cielo, y fumigara el lugar con coriandro, azafrán, beleño, apio y adormidera negra, todo en igual cantidad y mezclándolo con jugo de cicuta, jamás podría ser encontrado ni robado este tesoro, porque los espíritus lo protegen para siempre"*. El oro, por tanto, es de los dioses y éstos lo dan a los hombres para que alcancen los más elevados ideales, siendo sólo la ambición humana la que degenera esta primera intención.

Pero, ¿dónde se desarrolló ese culto al Sol que luego, por similitudes cromáticas, pudo pasar al Oro?. ¿En todo el globo o en sólo algunas zonas del planeta?. Un etnólogo tan reputado como A. BASTIAN ya defendía en el lejano año de 1870 que *"el culto solar se encuentra en relativamente pocas partes: Egipto, Asia, Europa antigua y, ya en América, sólo entre los pueblos 'civilizados' de Perú y México, los únicos de ese continente que alcanzaron una auténtica organización política"*.

Las antiguas civilizaciones disponían de dioses que estaban entroncados con el propio devenir de la vida, o, si se prefiere, con los ciclos naturales representados por las cosechas. No es extraño que les atribuyeran propiedades mágicas que les permitían favorecer, o, en el polo opuesto, dificultar, las labores de las que obtenían el sustento. Se pasa de dioses creadores a dioses fecundadores, que acaban siendo identificados en algunas áreas con el Sol. De esta manera, el Sol acaba situándose en el escalafón más elevado del conjunto de dioses que vigilan al ser humano.

El Sol, por ejemplo, es el *"ojo del dios supremo"* entre los pigmeos semang. Entre los aborígenes australianos de la etnia wiradjuri-kamilaroi, *"el Sol es Grogoragally, hijo del creador y figura divina favorable al hombre"*. Los samoyedas ven en el Sol *"los ojos de Num, el cielo. El Sol es el*

ojo bueno y la Luna el ojo malo". Los yuraks de la tundra de Obdorks celebran *"una fiesta cuando el Sol aparece por primera vez"*, de manera análoga a lo celebrado por los esquimales de Groenlandia. Entre los yuraks, *"el Sol, la Luna y el pájaro del rayo son los símbolos del dios mayor"*.

Si esto sucede entre estas tribus, en otras de las regiones de Africa e Indonesia, acontece algo similar: conceden al dios supremo el nombre de *"Sol"*. Los ba-rotse *"hacen del Sol el domicilio del dios del cielo, Niambe, y de la Luna su primera mujer"*. Entre los luyi, *"Niambe es en sí mismo el Sol"*. Los kakka llaman *"Abo a su dios principal, que significa tanto 'padre' como 'Sol'"*. Entre los bantúes del Africa Oriental, *"el ser supremo es Ruwa, término que se traduce como Sol"*.

Viajando hasta Indonesia encontramos ejemplos parecidos. Los khond adoran *"como dios supremo y creador a Bura Pennu ('dios de la luz') o a Bela Pennu ('dios del Sol')"*. Los birhors adoran a Chota Naghur, *"e inmolan al Sol sacrificios. Cuando nace un niño, el padre ofrece una libación de agua con el rostro vuelto hacia Oriente"*. En Timor, *"el Sol es el señor esposo de la señora Tierra, y de su unión nació el mundo. Rezan oraciones al señor abuelo-Sol para que les conceda mucho marfil y oro"*.

Si el Sol es identificado con el dios supremo, en otros pueblos serán los reyes los que hereden esa condición. Los soberanos hititas eran calificados como *"Sol del pueblo"* y los reyes indios recibían los títulos de *"soles, hijos del sol, nietos del sol, o bien, se les consideraba la encarnación del Sol"*. Por tanto, el Sol ya no es sólo la identificación de la fuerza mayor de los dioses, sino que la transmite a los dignatarios de cada tribu.

También el mundo andino protagoniza esta adoración al Sol, que, a modo de simple introducción toda vez que será abordado más en detalle en un futuro estudio, puede resumirse en dos muestras de la tradición quéchua, recopiladas por J. ALCINA en su *"Mitos y Literatura quéchuas"*. El primero es un canto a Wiracocha: *"¡Oh, Wiracocha, tú eres quien ordena que se haga el día y la noche, que amanezca y brille la luz!. A tu hijo, el Sol, lentamente hazlo caminar en el limpio cielo para que benéficamente alumbre al hombre que es tu criatura"*. El segundo sirve para

anticipar ese binomio Sol-Oro del que nos ocuparemos más adelante: *"Vendrá la cosecha y llenaré la troje cuando el Sol llueva Oro y la Luna plata"*.

Sin duda, la religión egipcia es una de las que más imbricaciones mantiene con el culto al Sol. A partir de la V Dinastía, numerosas divinidades acaban fusionándose con el Sol, y así nacen Khnum-Ra, Min-Ra, Amón-Ra, entre otros, posiblemente debido a las influencias e intrigas de los sacerdotes de Hierópolis: la preponderancia de Ra es consecuencia de la lógica extrapolación de la identificación del faraón con el Sol.

Entre los antiguos egipcios, la estrella Sirio, llamada Sothis en su lengua, y el Sol eran los dos cuerpos celestes más importantes, ya que ambos marcaban el comienzo del año y la crecida anual del Nilo, que, curiosamente, es nombrado por PLUTARCO con la palabra Sirio en una suerte de coincidencia o identificación global. Isis era la principal deidad asociada con Sirio, la *"dama de las estrellas"*, que era vista en el cielo como integrante de la constelación del *"Can Mayor"*. Por su parte, el Sol acaba integrado en varias divinidades, una de las cuales es Set, uno de los dioses más antiguos, que en su origen fue el dios del Reino Bajo, siendo adorado en los primeros tiempos predinásticos en Nebet, al norte de Luxor, y en pleno centro de las rutas hacia las minas de oro del desierto. En realidad, Nebet significa *"ciudad de oro"* y, quizá por ello, uno de los nombres de Set es Nebty, *"el de la ciudad del oro"*.



Figura 2. El dios Ra

Sin embargo, el verdadero dios solar era Ra, el dios de Heliópolis, *"la ciudad del Sol"*. Ra tuvo muchas formas y otros tantos nombres. Según la mitología nacida en Heliópolis, Ra era inicialmente Atum, y yacía silencioso en el seno de Nun envuelto por una flor de loto. Cansado del predominio del caos sobre el orden, se rebeló y así se transformó en Ra, apareciendo cada mañana por el Este, por encima de Manu, *"las montañas del amanecer"*, muriendo cuando la tarde se acercaba a la noche.

Las fiestas que celebraban al inicio del año, la regeneración de la vida, se desarrollaban en numerosos templos de Egipto. Una de estas tradiciones, comentada por D. MEEKS y C. FAVARD-MEEKS, se refiere al acto de adornar a Horus, *"vistiéndole de oro para prepararle para el encuentro con el disco solar del primer día del año. Se esperaba a que los rayos del sol lo iluminaran, y, de esta manera, Horus se sabía estaba tocando al Sol. Por medio de la estatua de oro inundada de luz se producía la unión mística del dios y del Sol"*. Horus era representado con unos ojos del color del lapislázuli (azul muy oscuro), que se vuelven del tono del electro cuando brilla el Sol, y también era tomado como una divinidad solar. La mayoría de los egiptólogos defienden que sus ojos representaban al Sol, el derecho, y a la Luna, el izquierdo.

Todos estos ejemplos conducen finalmente a otra categoría de dioses, o semidioses, si se prefiere: *"los héroes solares"*, comunes entre pueblos nómadas como los masai, los hotentotes, los turco-mongoles y los judíos. Son personajes que realizan grandes empresas, prohibidas al común de los mortales, y que permiten el progreso de la sociedad. Estos héroes (Sansón, Gesser Khan) salvan al mundo, lo renuevan, e inauguran épocas gloriosas, *"Edades de Oro"*, que contribuyen a ensalzar aún más las hierofanías solares, o mejor, cósmicas.

En resumen, en Egipto, como en otras culturas, la salida del Sol cada amanecer es un triunfo sobre las tinieblas, la vuelta al orden de la luz, a aquello que se ve y, que, por tanto, se teme menos que lo que surge de la oscuridad de la noche. El Sol, que era llamado en el antiguo Egipto como *"el becerro dorado"* es hijo del Cielo, una representación femenina, que se inclina cada mañana

sobre la Tierra, identificada como del género masculino, para dar a luz al Sol. Y así, fiel al ciclo vital, nace la esperanza en una buena siembra y, en consecuencia, en la consolidación de la sociedad.

EL ORO COMO SIMBOLO DEL SOL.

EL ORO COMO SINONIMO DE CORRUPCION

El significado mágico, o, si se prefiere, especial del oro aparece en numerosas tradiciones y leyendas. El oro como símbolo de los dioses, el oro como representación de las mejores épocas de una nación, el oro, apellidado negro, en referencia al petróleo. Incluso, la palabra *"talento"* definida en el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua como *"conjunto de dones naturales o sobrenaturales que Dios concede a los hombres. Dotes intelectuales"* deriva de una voz griega, *"talentum"*, que era una moneda de la Grecia clásica equivalente a 60 minas, y ésta, a su vez, deriva de una medida, usada en Egipto, para el oro.

Precisamente del antiguo Egipto proviene un texto, titulado *"Biografía del capitán de marinos Ahmosis"*, datado en la XVIII Dinastía (1540 - 1295 a. C.) del Imperio Nuevo, que describe la vida de un oficial de la marina egipcia, que sirvió durante los reinados de Ahmosis, Amenofis I y Thutmosis I, y que se distinguió en las incursiones a Nubia. En este texto se dice que *Ahmosis fue distinguido por el faraón con el 'Oro del Valor'*, que era la condecoración en forma de collares y objetos de oro, que recibían los soldados que habían destacado en el combate.

El Oro como recompensa, el Oro como legado. Así se lee en la *"Tabla Esmeraldina"*, una serie de dichos crípticos descubiertos en la tumba de Hermes Trimegisto, y reclamada como fuente de inspiración por los alquimistas: *"Como todas las cosas estaban para la contemplación de una, así todas las cosas surgieron de ésta por un simple acto de adaptación. El Padre es, pues, el Sol; la Madre, la Luna. El viento la llevaba en su útero. La Tierra es, pues, su enfermera. Es el Padre de todos los trabajos maravillosos a través de todo el mundo. El poder es, pues, perfecto"*, y, en consecuencia, *"esa única cosa es el elixir buscado, cuyo Padre es el Oro y su Madre la Plata"*.

La manipulación del oro, envidiado ya en sí mismo, a través de la orfebrería es considerado por numerosos historiadores como una importante manifestación de cambio cultural en tanto que puede significar un atributo simbólico de prestigio utilizado por las primeras élites para consolidar su poder. Hasta entonces, todos los restos arqueológicos neolíticos indican la existencia de una sociedad aparentemente igualitaria. Después, surgen estructuras jerarquizadas en los asentamientos. La orfebrería representaría una transformación en el orden establecido. Si en los siglos anteriores, el poder quedaba ejemplarizado por una mayor fuerza física de determinados individuos, o por una fecundidad alta en algunas mujeres, o, incluso, por el papel jugado por los chamanes a modo y manera de vínculo con los dioses, desde el preciso momento en que se descubre cómo manipular los metales y, en concreto, el oro, los hombres quieren mostrar su influencia con signos externos.

RENFREW (1986) establece una teoría por la que el oro contaba en aquellos lejanos tiempos de la Edad del Bronce con un *valor primario*, independiente del *valor de uso* que deriva de su utilidad, pero también con un *valor de trabajo* (esfuerzo invertido en su obtención y manipulación), un *valor de cambio* y un *valor histórico o sentimental* (asociaciones que motiva en el propietario o espectador). El *valor primario* podría definirse como *valor intrínseco* adscrito a un objeto o material por una determinada sociedad, añadiendo RENFREW que *"el oro, la plata, el cristal o el jade poseen ese valor primario en la mayor parte de las sociedades porque los materiales carecen de valor intrínseco universal. No es una cualidad como la dureza o la densidad por lo que se puede medir dentro de un contexto social. Las causas de tal valoración podrían buscarse en determinadas propiedades de esos materiales: son llamativos, atractivos y agradables a los sentidos; son escasos y muchos son perdurables"*. De esta manera, la posibilidad de obtener, poseer y exhibir un objeto singular diferencia claramente a uno o pocos individuos del resto de la comunidad.

El escritor lucense ALVARO CUNQUEIRO (1911 - 1981) escribió en su libro *"Tesoros y otras magias"* una curiosa historia que bien pudiera afianzar este misterio: *"Preguntando yo a uno*

que sabía mucho de tesoros, y hasta se decía que había encontrado uno, cómo siendo los tesoros del tiempo de los moros, o del tiempo de los cel-tas, había en ellos onzas de Carlos III, se rascó la cabeza y me dijo que quizá los que escondieron los tesoros hacían moneda falsa, pensando en los tiempos futuros. Bien, no podía llamársele falsa porque estaba hecha con oro de ley, pero la acuñaban con las efigies de los reyes que faltaban por reinar. Le pregunté: ¿Cómo sabían que reinaría Carlos III y que tendría aquella cara?. ¿Y entonces las profecías?, me dijo, y tuve que callarme". En resumidas cuentas: las monedas podían ser falsas, como de hecho lo eran, pero al estar acuñadas en oro, la duda de su autenticidad sobrevuela.

Recogida por JUAN GARMENDIA en su libro *"Mitos y Leyendas de los Vascos"* (1995) puede citarse en esta línea de ensalzar al metal dorado, la historia, contada por una octogenaria de Ichaso, de título *"Santa Engracia, Oro rojo"*: *"En forma de un puerco rojo recogía Santa Engracia la piedra precisa para levantar la ermita a ella dedicada en Huici. En este menester se acercó a un hombre, quien al tiempo que le propinaba un puntapié, le dijo: '¿Qué andas aquí, cerdo rojo?'. A lo cual Santa Engracia respondió: 'Yo no soy un puerco rojo, sino una Santa Señora, Oro Rojo"*. No es el Oro del que versan estas líneas, pero, al menos, sirve para apoyar la idea por la que el Oro es símbolo en sí mismo de los más altos valores; una auténtica metáfora de la perfección.

Sin embargo, aceptando el rango mágico del oro, su posesión por los hombres lo transmuta hasta envilecerlo. Es la otra cara del oro. TITO LUCRECIO (s. I a. C.) reflexiona en su obra *"De la Naturaleza de las cosas"* acerca de estas mismas cuestiones: *"Para excavaciones quisieron emplear la plata y el oro en los mismos servicios que hizo el cobre, pero fue en vano, porque no tenían consistencia estos metales, ni la dura fatiga resistían. Tuvo entonces el cobre mayor precio, y se despreció el oro como inútil. Sin embargo, ahora otra vez el oro sube a la mayor estima, y se codicia más de día en día, y es el objeto digno de alabanzas, y tiene sumo aprecio entre los hombres"*, afirmando en otro pasaje de su libro que *"al principio los reyes levantaron ciudades donde dar seguro asilo, repartieron las tierras y ganados conforme a la belleza y al ingenio*

y la fuerza y valor de cada hombre, porque eran estas prendas naturales las que más a los hombres distinguían. Por fin, se introdujeron las riquezas, y descubrióse el oro, que al momento envileció la fuerza y hermosura".

De manera semejante se manifiesta JOHN MILTON en su obra *"El Paraíso perdido"* cuando expresa que *"incluso en el cielo sus ojos y sus pensamientos se dirigían hacia abajo, admirando más la riqueza del pavimento del Cielo, Oro batido, que otra cosa divina o santa, disfrutada en su visión beatífica: por él también los primeros Hombres, enseñados por su sugestión, escudriñaron el Centro, y con manos impías saquearon las entrañas de su madre Tierra en busca de Tesoros más ocultos. Pronto la horda abrió en la colina una gran herida y excavó en las vetas de oro"*. Este autor, es elegido por el biólogo R. SHELDRAKE (1991) en su libro *"El Renacimiento de la Naturaleza"* (1991) para *"ejemplarizar que hubo un antes y un después, un momento pleno y otro, en el que nos encontramos, caracterizado por la ambición y la pérdida de la identidad"*, que entroncaría con el comentario de JUAN PARELLADA DE CARDELLAC en su *"El Origen de los Vascos"* en el que, parafraseando a los clásicos, escribe que *"en Iberia, antes que las minas de Oro y Plata fueran descubiertas, existían pocas guerras y muchos hombres se dedicaban a la filosofía"*.

Por tanto, el oro es señal de poder y riqueza, símbolo de lo divino, y, también, huella del deterioro. El oro está en el inicio y en el fin de las culturas. Es el impulso para desarrollarse y, acaso, la excusa para desaparecer. En el Levítico puede leerse que *"Yhavéh dijo a Moisés que es ley eterna perpetua para tus descendientes que se disponga siempre de lámparas en el candelabro de oro puro para que ardan continuamente delante de Yhavéh"*. R. GRAVES, en su libro *"Mitos hebreos"*, señala que algunas tradiciones defienden que el candelabro *Menorah*, esculpido en el arco triunfal de Tito de Roma para conmemorar su saqueo de Jerusalén en el año 70 d. C., era originalmente de oro. Atendiendo a ese candelabro, ZACARIAS señala que *"sus siete brazos de oro representan los ojos de Yhavéh surcando el universo"*, o sea, los siete planetas con el sol representado a través del oro.

Y yendo más allá, como relatan *Los Vedas*, es materia constituyente del Universo primigenio: *"El que subsiste por sí mismo, queriendo crear el Universo de su propia sustancia, creó las aguas y depositó en ellas una simiente que se transformó en un huevo de oro, resplandeciente como el Sol, y Brahma nació de él por su propia energía"*.

Sin necesidad de viajar al otro lado del mundo, algunas antiguas tradiciones rabínicas, herederas de mitos griegos, persas y babilonios, recrean el Génesis atendiendo a un significado místico. Yavhéh habría creado el mundo materializándolo en siete cielos por medio de la *"hashmal"*, una supuesta sustancia divina que, según el primer capítulo de EZEQUIEL, proporciona el ígneo esplendor del Trono y del Semblante de Dios. GRAVES señala que *"hashmal"* es una palabra hebrea moderna que significa *"electricidad"*, que estaría relacionada con *"electron"*, que en griego se vincula con *Elector*, un nombre del Sol, y así significa *"brillando con una luz dorada"*, y de aquí llegaríamos a *"electrum"* de color de ámbar, una aleación de oro y plata.

Pero también en el envés mismo de su valoración, el libro de Job afirma que *"tiene la plata sus veneros y el oro lugar en que se acrisola (...). La tierra que produce el pan está debajo trastornada por el fuego, sus rocas son la morada del zafiro y sus terrones contienen oro (...). Pero la sabiduría, ¿dónde está?. No se cambia por oro macizo ni se pesa plata para comprarla, no se pone en balanza con el oro de Ofir"*. El oro como aproximación a los dioses o traición a éstos; el oro como símbolo trascendente y sobrenatural o señal de paganismo y corrupción.

LOS DISTINTOS NOMBRES DEL ORO

La mayor parte de las denominaciones que se dieron al Oro derivan de sus propiedades físicas: su color y brillo. De alguna manera, ensalzar tan hermosas características era un camino para cobijar su relación con los más altos conceptos, aquellos que trascienden de la naturaleza efímera de la vida.

PLINIO EL VIEJO (23-75 d.C., aprox.) incluye en su *"Historia Natural"* una leyenda a la que atribuye el origen de la devoción por el oro según la cual

Zeus, para castigar a Prometeo por robar del cielo el fuego para los hombres, lo encadenó con grilletes de hierro a una roca del Cáucaso donde un águila enviada por él le devoraba el hígado, aunque éste se regeneraba continuamente. Zeus juró por la laguna Estigia, el juramento más sagrado de los dioses, que jamás lo desataría, pero Hércules, hijo de Zeus, dio muerte al águila con sus flechas. Satisfecho por la hazaña de su hijo, Zeus accedió a liberar al prisionero, aunque ordenó que Prometeo llevara siempre un anillo fabricado con el hierro de sus cadenas y en el que estaba incrustado un fragmento de la roca a la que había estado encadenado. Este anillo, según Plinio, fue la primera joya y habría estado *"engastada en un cuerno de oro guardada en el templo romano de la Concordia"*.

Las denominaciones que se han dado a este metal suelen coincidir en un común significado que atiende a su brillo (HABASHI, F, 1995). En hebreo, *"zahab"* deriva de una raíz que se refiere a *"relucir"*. En la lengua de los farsis, se nombra *"zar"*. La palabra árabe es muy similar: *"Al-zahab"*.

La palabra *"Oro"* parece proceder del sánscrito *"jval"*, que significa *"brillar"*, o, acaso, de la voz germánica *"ghel"* (o *"gelb"*), que se podría traducir como *"de color amarillo"*.

Las denominaciones francesa, italiana, española y portuguesa (*"ouro"*) proceden del latín *"aurum"*, origen, a su vez, del símbolo químico *Au*.

Los antiguos egipcios lo denominaban *"nub"* en alusión a la región de Nubia, norte del actual Sudán, de donde lo extraían. Por su parte, los griegos dieron en llamarle *"chrysos"*. El ya citado PLINIO habla de la *"chrysocola"* (goma dorada) que procede de las voces griegas *"crysos"* (oro) y *"kólla"* (goma), que sería la mena oxidada de cobre, de la que cuenta que *"procede de una región de la India donde las hormigas desentierren el oro. Aparece sobre el oro, es parecida a él y tiene forma cúbica"*.

Tomando también la raíz *"crysos"* del oro, se refiere a la *"chrysolampis"* (*"brillante como el oro"*) procede de Etiopía, y es *"por lo general pálida pero de noche toma el color del fuego"*. Asimismo, la *"chrysopis"* (*"de aspecto dorado"*) parece al oro".

LEYENDAS DE LAS MEDULAS

La importancia que tuvieron las minas de oro de Las Médulas es innegable a la luz de los testimonios de los historiadores clásicos FLORO, ORO-SIO o ESTRABON, que, junto con PLINIO EL VIEJO, acudieron en distintos momentos de la historia a contemplar con sus propios ojos un espectáculo que era comentado al otro lado del Imperio. Veinte siglos después, sólo queda un paisaje sobrecogedor, inaudito por su belleza, que hace testimonio de esa antigua ilusión de los Ingenieros de Minas de que también se les reconocía su labor extractiva: si los arquitectos son paisajistas de adicción (añaden elementos al paisaje, edificios, formas geométricas, que no estaban inicialmente en el lugar), los Ingenieros de las Ciencias de la Tierra son paisajistas de sustracción (quitan partes del terreno durante su trabajo, creando nuevas estructuras que, cuidadas y rehabilitadas, como sucede en no pocos países europeos, constituyen un nuevo paisaje, susceptible de ser acondicionado para otros fines culturales o recreativos).

Citado por el escritor JULIO LLAMAZARES en su libro *"En Babia"* (1991), el también novelista y viajero ENRIQUE GIL Y CARRASCO decía que *"esta montaña, horadada y minada por mil partes, ofrece un aspecto peregrino y fantástico por los profundos desgarrones y barrancos de barro encarnado que se ha ido formando por el sucesivo hundimiento de las galerías subterráneas y la acción de las aguas invernales, que la cruzan en direcciones inciertas y tortuosas. Su extraordinaria elevación y los infinitos montes de cantos negruzcos y musgosos, residuo de las excavaciones romanas, acaban de revestir aquel paisaje con un aire particular de grandeza y extrañeza que causa en el ánimo una emoción misteriosa"*.

Las Médulas se situaban en el país de los astures, que se extendía desde el Cantábrico hasta el Duero, y desde el Este a Galicia, y estaba formado por nueve tribus de las que la de los Superatios era la que dominaba la comarca del Bierzo, lugar donde se hallan estas antiguas explotaciones. Sobre la importancia de sus yacimientos, PLINIO EL VIEJO escribió que *"Asturias, Galicia y Lusitania daban cada año 20.000 libras de oro, así como que Asturias produce la mayor parte"*. El geógrafo ESTRABON matizó que *"hasta*

ahora ni el oro, ni la plata, ni el cobre, ni el hierro se han hallado tan abundantes en parte alguna del Orbe".

En un enclave con una tan profunda huella histórica, forzosamente han surgido leyendas y tradiciones. DAVID G. LOPEZ en su obra *"Las Médulas"* relata dos de ellas. La primera empieza comentando que *"antiguamente, en la dirección del lago Carucedo y muy cerca de él, existió una ciudad, llamada Lucerna, que fue construida por los romanos. Un día, una gran riada de agua que surgió de entre Las Médulas, inundó la ciudad y ésta desapareció sepultada. Los hechos ocurrieron cuando la gran guerra de espadas"*. La segunda dice que *"en el lago Somido se encuentran sumergidos la espalda de Roldán, capitán de 'Carromanos', y el valor de Oliveros. Actualmente ya nadie puede verlos, pues el lodo y la maleza los han ocultado, pero antiguamente eran contemplados por cuantos se acercaban al lago a las diez de la mañana del día de San Juan"*.

¿Por qué precisamente ese día?. ¿Será, como decía el padre FEIJOO al referirse a la fábula de San Brandán, que trataremos en otro momento, que *"San Borondón se ve sólo desde la isla de Hierro en los días muy claros, esos días asociados a las maravillas de la mañana de San Juan, de extraña luminosidad y radiante Sol"*?. ¿Qué de especial tiene ese día para que, como reza la canción popular *"levántose el Conde Olinos/mañana de San Juan (...)* Quien hubiera tal ventura / sobre las aguas del mar / como hubo el infante Arnaldo / la mañana de San Juan"?. El solsticio de verano, el anuncio del reinado del Sol, la mañana precursora del esplendor de la luz y de lo divino, como, según la religión cristiana, lo es San Juan, el Bautista, de Jesús. La mañana de San Juan. ¿El Sol, otra vez, como idealización de lo sublime?. ¿El oro, como apunta SANCHEZ DRAGO en su *"Gárgoris y Hábidis"* como *"milenaria identificación con los valores religiosos o espirituales"*?

¿Dónde se encuentra, si es que existió alguna vez, la ciudad de Lucerna?. ¿Es posible que Durandarte, la legendaria espada de Roldán, descansase sumergida en las aguas de un lago cercano a Las Médulas?. Ambos relatos están entroncados con el *"Cantar de Roldán"*, poema épico anónimo que recrea las derrotas de las tropas caro-

lingias en Roncesvalles: Carlomagno regresa a Francia tras vencer a las huestes españolas y deja a su lugarteniente el conde Roldán al frente de un ejército. Sin embargo, son traicionados por Ganelón, suegro de Roldán, que los vende a los moros, siendo vencidos en la batalla de Roncesvalles.

No hay constancia histórica que asegure que Roldán o Carlomagno estuvieran en Las Médulas durante sus campañas contra los sarracenos, aunque no es arriesgado afirmar que quizá fueran los peregrinos del Camino de Santiago los que propagaron una leyenda que arraigó con fuerza en los sentimientos de los lugareños. En cuanto a la misteriosa Lucerna, es citada por distintos cantares de gesta, como las *"Crónicas del Pseudo Turpín"*, donde se narran los tres imposibles viajes de Carlomagno para recuperar la tumba del apóstol Santiago, el *"Codex Callistinus"*, también llamado *"Liber Sancti Jacobi"* y que fuera atribuido al Papa Calixto II, el *"Gui de Bourgogne"* o en el *"Anseis de Cartago"*, todos ellos originarios de la Edad Media. Según apunta el citado DAVID G. LOPEZ, Lucerna estaría en el llamado *"valle verde"* del Bierzo, cerca del lago Carucedo, aquél del que GIL Y CARRASCO en su obra *"El señor de Bembibre"* escribiera que *"iluminado por esa luz tibia, tornasolada y fugaz, enclavado en medio de aquel paisaje tan vago y melancólico, más que otra cosa parecía un camino anchuroso, encantado y místico"*. En el *"Codex Callistinus"* se puede leer que *"Carlomagno ocupó numerosas ciudades, siendo la última Lucerna, situada en el verde valle de la campiña, que quedó deshabitada y de donde surgió una laguna de negrura abismal en medio de ella"*.

Este lago estaría relacionado con otra leyenda, evocada por JAVIER VILLALIBRE en su libro *"Las Médulas y su entorno"*, que habla de *"una ninfa que, amada y burlada por el conquistador romano Tito Carisio, lloró tanto su pena que sus lágrimas inundaron la ciudad, sumergiéndola y dando origen al lago. En la noche de San Juan, sale la ninfa en busca del amor que la desencante y, aunque no sucedió hasta hoy, sigue insistiendo en su propósito"*.

Las Médulas nos dejan en otra mañana de San Juan, la del Sol invencible, la de los destellos de

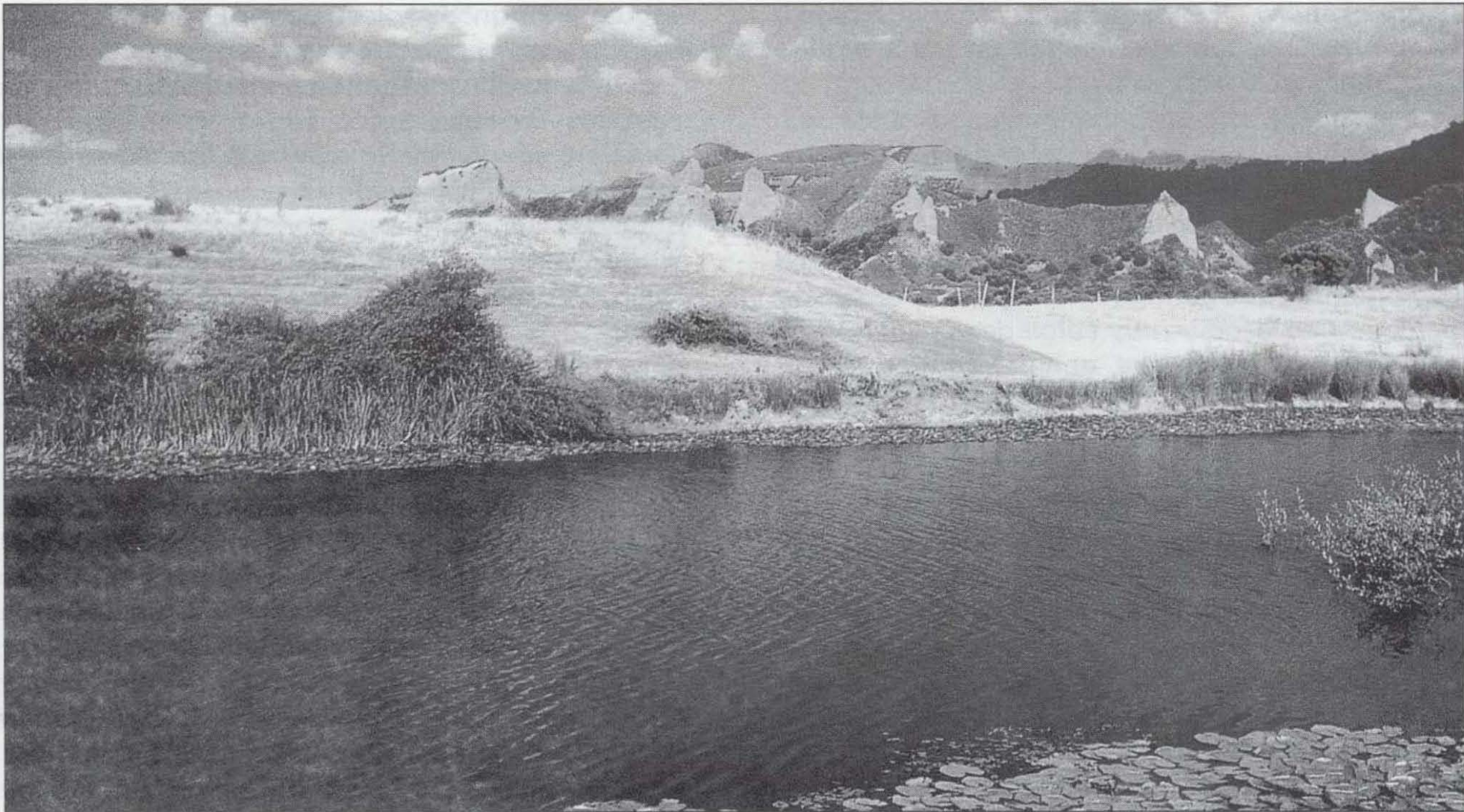


Figura 3. El lago Carucedo

oro, que nos hace recordar una antigua tradición persa, procedente del texto zoroástrico *"Avesta"*, que relata la historia de Ardvi Sura Anahita, diosa de las aguas, que viaja en un carro tirado por cuatro caballos (el viento, las lluvias, las nubes y el aguanieve): *"Ardvi Sura Anahita es de noble origen, nacida de una raza llena de clemencia, y viste un manto totalmente bordado de oro, y lleva unos pendientes de oro cuadrados y un collar de oro. Y le ciñe la cabeza una corona dorada con cien estrellas y ocho rayos (...), y, cuando Zoroastro se lo preguntó, respondióle que la veneraran desde que el sol nace hasta que el sol se pone"*.

El Oro y el Sol. Terminaremos refiriéndonos a un curioso texto, *"Aesch Mezareph"* (*"Fuego Purificador"*), que fuera traducido por vez primera en Europa por KNORR ROSENROTH (1677) bajo el título *"Kabala Denudata. Las Doctrinas Trascendentales, Metafísicas y Teológicas de los Hebreos"*, y que constituye una interesante aproximación a uno de los libros más influyentes de la Cábala.

En uno de los capítulos de este texto, donde se

dice que *"el Sol es el Oro de los sabios"*, se reproduce un cuadrado mágico en el que la suma de sus números, en vertical, horizontal y diagonal, siempre es igual a 216, el *"número de Arjeh"* según los cabalistas, esa cifra que se nombra con un vocablo, *Arjeb*, cuya raíz es *"arih"* (o *"arh"*), *"el que agarra la presa"*, y que deriva de *"zhhb"*, que es *"oro"*, y que tiene relación fonética con *"zhr"*, que es *"luz, resplandor, esplendor"*, y también con *"aur"* (*"luz"*), todas ellas, siempre según la antigua tradición, *"relacionadas con el Sol"*.

11	63	5	67	69	1
13	21	53	55	15	59
37	27	31	29	45	47
35	39	43	41	33	25
49	57	19	17	51	23
71	9	65	7	3	61

Figura 4. Cuadrado mágico cabalístico cuya suma es siempre 216, el número del Oro y del sol.

REFERENCIAS

- ALCINA, J. (1989). "Mitos y Literatura quéchuas". Alianza Editorial. Madrid. 182 p.
- ANONIMO (1987). "Aesch Mezareph o Fuego Purificador". Muñoz Moya y Montraveta Eds. Barcelona. 153 p.
- BARNETT, C. (1994). "Dioses y Diosas de Egipto. Mitología y Religión del Antiguo Egipto". Ed. EDAF. Madrid. 187 p.
- CARDENAS, J. de (1993). "Problemas y Secretos Maravillosos de las Indias".
- DANIEL, G. (1946). "The Three Ages". Cambridge Press. Gran Bretaña.
- ELIADE, M. (1986). "Tratado de Historia de las Religiones". Ediciones Era. México. 462 p.
- ELIADE, M. (1992). "Alquimia Asiática". Ed. Paidós. Barcelona. 113 p.
- ELIADE, M. (1993). "Cosmología y Alquimia Babilónicas". Ed. Paidós. Barcelona. 116 p.
- GARMENDIA, J. (1995). "Mitos y Leyendas de los Vascos". Aramburu Editor. San Sebastián. 196 p.
- GOMEZ MORENO, M. (1941). "Oro en España". *Arqueología Española*, 45, p. 461-ss
- GRAVES, R.; PATAI, R. (1988). "Los Mitos Hebreos". Alianza Editorial. Madrid. 276 p.
- KIECKHEFER, R. (1992). "La Magia en la Edad Media". Ed. Crítica. Barcelona. 234 p.
- LOPEZ, D. G. (1980). "Las Médulas". Ed. Nebrija. León. 159 p.
- MEEKS, D.; FAVARD-MEEKS, C. (1994). "La vida cotidiana de los dioses egipcios". Ed. Temas de Hoy. Madrid. 333 p.
- PLINIO EL VIEJO (1987). "Historia Natural". Alianza Editorial. Madrid.
- RENFREW, C. (1986). "El alba de la civilización. La revolución del radiocarbono y la Europa prehistórica". Colegio Universitario de Ed. Istmo. Madrid.
- RENFREW, C. (1986). "Varna and the emergence of wealth in prehistoric Europe". En: A. Appadurai (Ed.): "The social life of the things. Commodities in cultural perspective". *New Directions in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 141-168.
- SANCHEZ DRAGO, F. (1982). "Gárgoris y Hábidis. Una historia mágica de España". 2 Tomos. Ed. Argos Vergara. Barcelona. 505 y 405 p.
- SERRANO, J. M. (1993). "Textos para la Historia del Antiguo Egipto". Ed. Cátedra. Madrid. 283 p.
- TITO LUCRECIO (1983). "De la Naturaleza de las Cosas". Ed. Cátedra. Madrid. 413 p.
- UYLDERT, M. (1982). "Metales Mágicos". Ed. EDAF. Barcelona. 170 p.
- V.V.A.A. (1989). "El Oro en la España Prerromana". Zugarto Ediciones. Bilbao. 129 p.
- VILLALIBRE, J. (1990). "Las Médulas y su entorno". Ediciones Lancia. León. 61 p.

Original recibido: Junio 1998.

Original aceptado: Septiembre 1998.

LA COMERCIALIZACION DEL ORO.

Por J. SARDA DE LAS HERAS (*)

R E S U M E N

El Oro es conocido y usado desde el año 6000 a.C. Sus propiedades físicas y químicas, junto a su escased, dan un doble valor y uso: Utilización en joyería y decoración (alto valor), y utilización como reserva de divisas y monedas.

Desde la antigüedad es parte de la historia y fundamento económico de las culturas.

Su papel como paridad moneda de valor y como base monetaria contrapartida de billetes, fue imprescindible en el desarrollo económico de los tiempos modernos.

Su cotización como mercancía, ligada a su valor monetario, hizo desarrollar muy tempranos mercados o bolsas de contratación de físico, al contado o a futuros.

Actualmente se produce un trasvase de los Bancos Centrales, al consumidor privado, que puede ocasionar falta de físico en una economía en constante proceso de desarrollo a largo plazo.

Palabras clave: Valor seguro, Mercado líquido, Historia económica, Futuro garantizado.

A B S T R A C T

Gold is known and used since 6000 years before Christ. Its physical and chemical properties together with its scarcity double its value and use: Use in jewellery and decoration (high value), and use as monetary reserve.

Even since the antiquity, it has been a part of history and fundamental to the economies of all civilisations.

Its role as a standard and as a basic monetary counterpart for notes has been essential for development in modern times.

Its price a goods, linked to its monetary value, was the root for the early development of markets trading with physical gold and spot and futures.

Currently, transfers of gold from Central Banks to consumers may cause a shortage of physical gold in an economy that is continually in a long term development process.

Key words: Secure value, Liquid marked, Economic history, Guaranteed future.

El Oro, es el metal precioso por excelencia, ha tenido y tiene un doble interés a lo largo de la Historia de la Humanidad :

Como metal valioso por sí mismo, medio de atesoramiento, soporte de economías personales, soporte de monedas y de poderes políticos, soporte de inversión en forma de lingotes y monedas.

Como metal valioso que además es fácilmente

utilizable para fabricar los objetos más diversos de ornamentación, culto religioso, ostentación de poder económico; en forma de joyas de diversas características y, manifestación de culturas a lo largo de la Historia.

El desarrollo de la tecnología y la exigencia a los materiales de máximas prestaciones en cuanto a, reflexión de la luz, conductividad eléctrica y térmica, inalterabilidad en atmósferas agresivas, ...etc., ha creado una moderna demanda en las aplicaciones ya comentadas en la exposición de "aplicaciones del oro". En cualquier caso estas aplicaciones no tienen un peso específico significativo en la demanda física del oro.

(*) Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales.
Director General Sociedad Española de Metales Preciosos, S.A.

HISTORIA

Un desarrollo completo de la Historia del Comercio del Oro sería tanto como tratar de relatar en esta exposición la historia del mundo. Por ello, haré sólo mención de determinados hechos, a veces anecdóticos, en los que es difícil separar la fábula de la realidad, pero que colocados en forma cronológica pueden llevarnos en unos minutos a través de la historia de las civilizaciones, hasta nuestros días, haciendo una mención más especial a los orígenes y la comercialización actual del oro.

Posiblemente, hace más de 6000 años en las riberas del río Nilo sus habitantes comenzaron a utilizar como objeto decorativo sobre su cuerpo unas arenas doradas con propiedades mágicas, que no se alteraban con el paso del tiempo; además, en ellas se reflejaba la luz con destellos dorados incluso en zonas sombrías y se podían trabajar fácilmente.

La primera anotación conocida del oro como metal valioso, objeto ligado al poder, proviene del año 1350 a.C., en la época del faraón Nemes, unificador de Egipto, en que se habla del “electrum”, aleación de oro y plata, que fija el valor del oro en términos relativos con el valor de la plata en 1 de oro a 2 y medio de plata.

Durante la vida de las primeras catorce dinastías egipcias 3150-1212 a.C. (Tinita, Imperio Antiguo, Período Intermedio, Imperio Medio, Dinastías Icsas, Imperio Nuevo, Reinados de Tutmés III, Akenaton y Ramses II), las minas del alto Egipto y del desierto de Nubia abastecieron los tesoros de los faraones, utilizando el puerto de Berenice, a orillas del Mar Rojo, para el traslado a las diferentes capitales que las dinastías tuvieron a lo largo del valle del Nilo.

En Mesopotamia la cultura sumeria en paralelo a la civilización egipcia también liga la posesión de oro con el poder, desarrollando a lo largo de su historia extracciones mineras en Hamadan al norte de Persia, en las mesetas del Kurdistan llegando a las minas del Cáucaso por Armenia, en Colchis donde se sitúa la captura del Vello de Oro por Jason y los Argonautas, así como las importantes extracciones del golfo de Aqaba actual Yemen del Norte y antiguo reino de Saba.

En los años de la cultura Micénica 1600-1200 a.C., en los orígenes de la antigua Grecia se conocen las máscaras de oro encontradas en tumbas como la máscara de Agamenón. El oro procedía de Egipto e incluso de la Península Ibérica, donde se han encontrado vestigios de aquellas épocas. La arqueología minera española en cuanto a la importancia en el desarrollo del comercio de metales preciosos con origen en Tartesos, demuestra su gran importancia, en los inicios de la civilización mediterránea.

A medida que la civilización avanza, los vestigios de relación político-económico sobre el oro avanza. Con el fin de no alargar en exceso esta exposición, relato a continuación eventos cronológicos en los que el oro es protagonista, que nos van a ir acercando a los tiempos actuales:

Israel

Moisés y los israelitas capturaron a los Medianitas 230 Kg. de oro.

Salomón obtuvo de Ofir, lugar que historiadores sitúan en España, costa Este y Oeste de África, e incluso la India, unos 420 talentos año equivalente a 18 Tm de oro por año.

La reina de Saba envió 120 talentos de oro, equivalente a 5 Tm., de oro como presente al rey Salomón.

Mesopotamia y Grecia

Babilonia desarrolló un sistema de cambio con lingotes marcados por banqueros y unas paridades entre metales :

- Au 5 veces más que Ag
- Ag 180 veces más que Cu
- Ag 40 veces más que Pb
- Ag 300 veces más que Fe

Los banqueros acuñaban sus lingotes y realizan préstamos sobre un 20% de interés anual.

Las primeras acuñaciones de monedas se realizan en el siglo VII a.C.

Cresus rey de Lidia, acuñó las primeras monedas en el siglo VI a.C. con respaldo del poder político.

Cresus, ofreció a Herodoto 3.500 Kg. de oro para la reconstrucción del templo de Delfis.

El Partenón absorbió 900 Kg. de oro.

En el siglo V a.C. la utilización de monedas era general en el mundo heleno.

Fenicia y Cartago

Son los primeros verdaderos comerciantes de oro, en sus rutas por el sur del Mediterráneo, siendo proveídos por las minas de los Tartesos (Andalucía) como fundamento de su comercio de oro (1200-500 a.C.).

Los fenicios tirrenos crearon una colonia, en la desembocadura de los ríos Tinto y Odiel (Huelva) básico para la explotación comercial de los metales de la Sierra de Aracena.

El 1100 a.C., en el islote de San Sebastián crearon Gadir (Cádiz), como punto complementario para su comercio.

Entre 750 y 580 a.C., los fenicios mantenían el monopolio de distribución de los metales obtenidos en el sur de la Península Ibérica, llegando incluso a Britania para conseguir estaño.

Roma

En los primeros tiempos se seguían utilizando monedas acuñadas por Grecia.

La acuñación de monedas de oro se hizo habitual (áureos), en base a oro proveniente de todo el imperio, destacando Hispania, Egipto, Cáucaso.

Roma conquistó Gadir (Cádiz) el 206 a.C.

Cato nacionalizó las minas en Hispania el 195 a.C.

Tiberio permitió la cesión de minas en Hispania a patricios sin que el estado pierda la propiedad el año 37.

Marco Trajano volvió de su campaña centroeuropea desde Transilvania con un tesoro en oro y plata que permite una distribución entre los “ciudadanos romanos” y grandes obras en el palatino romano.

La producción de oro en aquella época, se estima en 5 Tm., por año.

Edad Media

Desde el inicio de la extracción de oro, hasta el año 1500, la producción de oro se estima en 7.300 Tm.

En China, a pesar de encontrarse muy importantes vestigios antiguos, es durante la dinastía T'ang (618-906), cuando se desarrolló fundamentalmente la orfebrería en oro.

En Europa se produjo un cierto desarrollo minero en Bohemia y Sajonia de relativa importancia.

Las principales acuñaciones de monedas de oro se efectuaron:

Siglo X España árabe (El oro centroafricano se incorpora a las arcas de los regidores).

Siglo XIII Genoveses, Venecianos.

Siglo XIV Ingleses y Franceses.

América

Fuente de suministro para Europa vía España.

Entre 1500 y 1700 Europa recibió 450Tm de oro, fundamentalmente a través de España.

Las diferentes culturas americanas acumularon piezas y tesoros en oro, que en gran medida sirven para financiar y enriquecer a sus conquistadores.

Las culturas más destacadas en cuanto su relación con el oro fueron:

- Tairones en Colombia.
- Incas en Perú.

- Itzá en Yucatán.
- Mayas y Aztecas en resto de México.

En el siglo XVIII las minas de Gerais de Brasil, se convirtieron, junto a las de Siberia, en las primeras del mundo. La producción minera del siglo se situó en unas 100 Tm.

Grandes descubrimientos mineros del siglo XIX:

Sin duda alguna, los descubrimientos de yacimientos auríferos del siglo pasado son los más famosos de la Historia, como fuente inagotable de historias literarias ligadas al espíritu descubridor y aventurero, del siglo XIX.

Los lugares, fechas de descubrimiento, y descubridores, fueron:

California	1848	J. Marshall
Australia	1851	W. Hargraves.
Sudáfrica	1854	P. Marais
Alaska	1896	G. Carmack.

Durante el siglo pasado los grandes descubrimientos auríferos llegan a situar la producción en 90 Tm., de oro anuales, cifra similar a la producción de todo el siglo anterior.

LA PARIDAD ORO MONEDA

Desde los orígenes de la Humanidad, el comercio se ha realizado mediante un sistema de intercambio de mercancías, que aún perdura en algunos países donde la definición de valor monetario propio es imposible. Dentro de esta operativa, a lo largo de la Historia, el oro, sobre todo acuñado, va tomando un protagonismo fundamental como elemento de pago y cobro.

En la Edad Media, los banqueros reciben en depósito el oro de sus clientes y orfebres, emitiendo recibos relacionados en término de pesos en oro, que sirve de medio cobro-pago pero sin un valor oficial predeterminado diferente al valor del propio oro en sí.

Desde el fin de la Edad Media los banqueros generalizan mucho más la emisión de recibos contra las entregas de metal precioso que les

hacen, sirviendo de vehículo de cambio más generalizado entre los poseedores de riqueza, e incluso los orfebres que trabajan el metal. Es el nacimiento del papel moneda, que se utiliza en operaciones importantes, utilizando la moneda física únicamente en las transacciones corrientes.

El primer país en que se realiza una fijación moneda oro, es en Inglaterra en 1694, donde se establece una paridad sobre la base de la emisión del Soberano oro con una relación 0,257 onzas por Libra o 3,894 Libras por onza. Durante las campañas napoleónicas, y la primera Guerra Mundial, la cotización se suspende, pero el principio fundamental de mantenimiento de una paridad como medio para conseguir una estabilidad económica, que defendían los economistas clásicos, se sostiene.

En 1844 la moneda de oro integral se establece comprometiéndose el Banco de Inglaterra por ley a comprar y vender el oro al precio fijado. El sistema se conserva hasta 1931 en que la cotización de la Libra se deja flotar. En 1939, 1949 y 1967 se procede a un ajuste devaluatorio de la Libra hasta que en 1973 se acuerda la libre flotación de la moneda.

En los Estados Unidos la paridad oro/Dólar se establece de hecho en 1772 a 20,67 Dólar la onza. En 1871 se legisla la convertibilidad total del dólar contra el oro. El 31 de Enero de 1934, tras la Gran Depresión, se fija un cambio de 35 dólares la onza, que se mantiene tras la Segunda Guerra Mundial, fijando en los acuerdos de Breton Woods una paridad fija en este nivel, así como el compromiso de Estados Unidos de convertirse en Banqueros centrales del mundo occidental asegurando la paridad sobre la base de sus reservas de oro. Tal como sucedió con la Libra, el sistema de flotación y los precios del mercado libre de cambios desligan esta cotización definitivamente en Agosto de 1971.

En España y Francia la convertibilidad se establece en 1855, y en Alemania en 1871. En el resto de los países se produce una evolución similar, sólo condicionada por sus singularidades económicas, muy ligadas a sus éxitos o desastres en guerras y campañas.

Tras la finalización de la aplicación de los acuer-

dos de Breton Woods el precio del oro se fija libremente en los diferentes mercados mundiales ante la imposibilidad de frenar el empuje del mercado libre. La fecha real en que se produce una disociación entre el oro monetario y el oro a mercado es el 18 de marzo de 1968.

Bajo este sistema de fijación de moneda con relación al oro, se desarrolla el intercambio de valores de las monedas de los países que lo ponen en práctica. La acumulación de oro por los países se hace prioritaria para generar las reservas que garantizan el papel moneda emitido, y ello, favorece el comercio físico entre países.

LAS BOLSAS DE METALES.

Las bolsas de metales se establecen como necesidad de disponer de un lugar físico donde realizar las transacciones entre comerciantes de metales, cuando estos se convierten en materia prima para la fabricación de productos fundamentales en el proceso del desarrollo industrial, aún incipiente, posterior a la Revolución Francesa.

Los comerciantes de metal en Londres, base de la revolución industrial, comenzaron por reunirse en lugares públicos, con el fin de realizar sus operaciones. En principio, estas operaciones se realizan sobre los metales disponibles en sus almacenes, pero poco a poco, con el desarrollo del telégrafo y la mayor seguridad del tráfico marítimo, pueden prever la llegada de los barcos y las operaciones se comienzan a realizar sobre entregas a plazo, naciendo el mercado de futuros.

En los pubs u oficinas donde se reúnen, (fue famoso el café Jerusalem), se escriben en pizarras puestas en la puerta las operaciones últimas realizadas por metales, estableciendo un sistema operativo de comercio contado y plazo.

En 1877 se crea la empresa "Metal Market and Exchange Co ", primera piedra en la creación del London Metal Exchange para realizar operaciones de todos los metales básicos (cobre, estaño, níquel, plomo, aluminio, zinc, y plata), figura básica en la que se han basado todas las bolsas internacionales de mercancías tanto de físico, contado, o plazo.

Durante el referido siglo pasado, las transacciones de oro, se realizan fundamentalmente entre Estados, por lo que el establecimiento de una bolsa internacional no es necesaria.

Por otra parte, la mayoría del oro se obtenía en países que eran o habían sido colonias de Inglaterra, se recibía en forma de bullion, se afinaba en Inglaterra y se vendía por su banco central, a través de su representante oficial, la banca N. M. Rothschild & Sons.

El London Gold Market, empezó a funcionar el 12 de Septiembre de 1919 en las oficinas de N.M. Rothschild & Sons en Londres.

Los fundadores de este mercado fueron:

-Mocatta and Goldsmid Limited, banqueros desde 1684, diez años antes que el Banco de Inglaterra.

-Sharps, Pixley Limited, banqueros que provienen de la fusión de Sharps & Wilkins con Pixley & Abell que comienza sus operaciones en 1715.

-N. M. Rothschild & Sons el mayor banco internacional de la época, fundado en 1804.

-Johnson Matthey Bankers Limited, uno de los principales afinadores de oro de la época.

-Samuel Montagu & Co. Limited, fundado en 1853.

Aunque su operativa ha cambiado en los últimos años pasando a denominarse London Bullion Market, este mercado sigue siendo la referencia mundial de la cotización de oro, por sus volúmenes, su influencia y la participación actual de las principales firmas del mundo ligadas a todos los puntos de producción y consumo.

Para que una empresa emisora de lingotes de oro sea admitida como "good delivery" necesita pasar un riguroso examen que muy pocas empresas han podido pasar:

- Se necesita un reconocimiento por escrito del Banco Central del país que se trate.
- Informe financiero auditado donde se demues-

tre que la compañía tenga una antigüedad adecuada, y un patrimonio no inferior a 5 millones de Libras Esterlinas.

- Informe auditado de que la compañía produce anualmente no menos de 10 Tm de oro.
- Informe realizado por los socios del mercado sobre análisis efectuados a los lingotes que la empresa produce, así como su capacidad de determinación exacta de contenido de la firma examinada.

Una vez estudiado todo el dossier, si el mercado acepta la empresa, su marca queda registrada e incluida en la "good delivery list". La única empresa de España operativa incluida en esta lista es SOCIEDAD ESPAÑOLA DE METALES PRECIOSOS.

El London Bullion Market Association surgió en Londres el 14 de Diciembre de 1987 como continuador de London Gold Market y London Silver Market, con el espíritu de dar un entorno jurídico más abierto que permitiera adecuar la bolsa a las necesidades del mundo actual, incluyendo la participación de muchos más miembros.

Este mercado fija dos fixing al día para el oro, uno a las 10 h. 30 m. y otro a las 15 h. con unidad de contratación de 400 onzas troy equivalente a un lingote de 12,5 kg. La cotización oficial es contado (spot) aunque los asociados también facilitan operaciones a plazo (forward).

Cada miembro envía un representante a las horas del "fixing" para acudir a la sesión, que tradicionalmente está presidida por el representante de N. M. Rothschild & Sons, dicho representante mantiene contacto telefónico con su empresa, recibiendo órdenes de compra-venta al "fixing" de forma continua, hasta que se llega un punto de interés en precio y cantidades que queda fijado como "fixing".

Zurich, como sede de la gran banca Suiza, es recientemente la principal competencia de Londres en la supremacía del mercado del oro, aprovechando su posición política y económica en el mundo contemporáneo.

Su importancia, como centro negociador de oro,

está ligada a su neutralidad en los conflictos bélicos de este siglo, con espectacular crecimiento en los años 30. En 1969 toman una parte muy importante en el mercado internacional al acordar con la República Sudafricana la comercialización de una parte muy importante de su producción, la primera del mundo. Los tres grandes bancos suizos (C.S.-U.B.S.-S.B.S.) forman un "pool" que garantiza la operatividad de este mercado asegurando la colocación de las cantidades precisas en lotes aproximados de 385 kg. Esta oportunidad, que Suiza no desaprovechó, se produjo por el necesario cierre del mercado londinense con ocasión de la liberalización del mercado ya citada, aunque sólo duró 2 semanas.

Es un mercado abierto, operativo entre las 9 h y las 17 h, que cotiza "spot" y "forward" por los principales, sin que produzca un "fixing".

En Estados Unidos hasta 1975, el comercio del oro se considera de estado y está prohibida la posesión de oro por particulares, por lo que los americanos no estaban acostumbrados a disponer de monedas de oro o lingotes como forma de inversión o patrimonio.

Por ello, el establecimiento de bolsas de metales preciosos es bastante reciente, existiendo fundamentalmente dos: New York y Chicago.

En New York, en las torres gemelas de Manhattan, se encuentra el Commodity Exchange, Inc. (COMEX), principal mercado mundial de futuros y opciones que actualmente recibe operaciones, prácticamente las 24 horas del día, con unidad de transacción de 100 onzas introducido en 1974 y fechas vencimiento contrato: febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre.

En Chicago el mercado se denomina Chicago Board of Trade y su operativa es igual que la del COMEX.

En Japón desde 1973 todas las personas físicas o jurídicas, con excepción de los bancos, tienen el derecho a poseer oro. El mercado más importante es el Tokyo Comodity Exchange (TOCOM), establecido en Noviembre de 1984 por absorción de Tokyo Gold Market, el Tokyo Rubber Exchange y el Tokyo Textile Commodities Exchange.

El TOCOM negocia futuros y opciones con características similares a las bolsas americanas, pero con vencimiento todos los meses del año y operaciones expresadas en kg.

En Hong Kong, nada ha cambiado tras el control de China. El Hong Kong Kam Ngan Society fué fundado en 1910 por 195 miembros. Las operaciones se desarrollaban en cantones y su importancia tomó grandes dimensiones en 1974 cuando se liberan totalmente las importaciones de oro.

Se realiza un mercado basado en la práctica de Londres con un "fixing" a las 11 h. toda la semana, excepto los sábados que se fija a las 10h 30m. La gran particularidad, es que las operaciones no tienen porque fijarse para entrega contado, sino que se admite un plus por la entrega recepción aplazada, lo que es de hecho un mercado "forward" más que "spot".

También existe el Hong Kong Futures Exchange Ltd., que es un mercado de futuros y opciones.

En Singapur, existe un mercado físico muy importante desde 1968. La liberalización total de los mercados de divisas en junio de 1978 permitió el establecimiento de un mercado de futuros, el Singapore Gold Exchange, a imagen y semejanza del COMEX neoyorquino.

Otras bolsas de menor volumen e interés:

- Brasil:
 - Bolsa Brasileira de Futuros (1984)
Futuros.
 - Bolsa de Mercadorias de Sao Paulo (1917).
Fut. Opc.
 - Bolsa Mercantil de Futuros
Fut. Opc.
- Canadá:
 - Montreal Exchange
Opciones.
 - Vancouver Stock Exchange
Opciones.

Al describir las diferentes bolsas o mercados,

donde se cotiza oro he descrito qué tipo de operaciones se realizan, fundamentalmente contado (spot), plazo (forward), futuro, y opciones.

Contado (Spot) se denomina una cotización para entrega inmediata por estar el oro disponible para su entrega, y pago contado.

Plazo (Forward) se denomina una operación con un vencimiento en un día concreto para la entrega y el pago. Es una cotización generalmente financiera que entraña un sobreprecio (contango) cuando el tipo de interés del oro es inferior al de la moneda en que se cotiza, o un descuento (backguardation) si el tipo interés del oro es superior al de la divisa de pago.

Futuros se denomina a una operación para entrega en un mes concreto.

La operación es muy similar a la anterior, pero en el marco de una bolsa concreta, con reglas preestablecidas sobre fechas máximas de entrega en cada mes, variación de cotización máxima diaria, unidad de operación, y márgenes a depositar por operación realizada.

Opciones se denominan a operaciones en las que se puede comprar la opción de comprar a un precio determinado (buy a call), comprar la opción de vender (buy a put), vender la opción de comprar (sell a call), vender la opción de vender (sell a put).

EL ORO FISICO

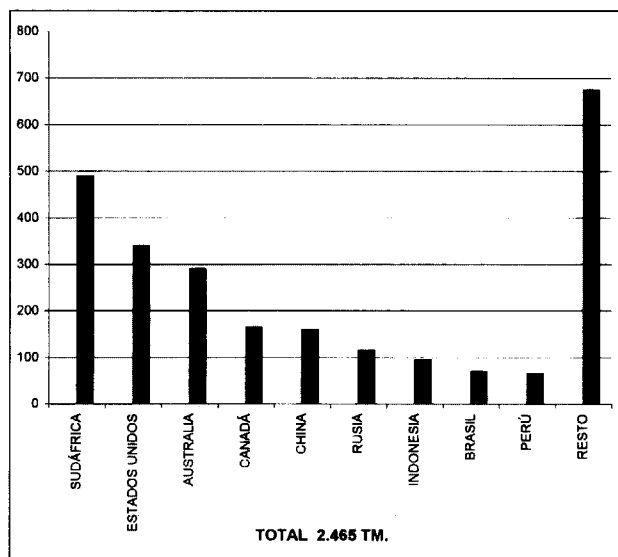
El oro afinado que se encuentra en el mercado tiene fundamentalmente dos formas físicas:

- Lingotes en cualquier peso, con una ley comprendida entre 99,5% y 99,99%, pero entre los que destacan por su importancia en el comercio internacional:

400 onzas	12,5 kg.	Mercados europeos
kilo bars	1 kg.	Todos los mercados
10 Tolas	3,750 onzas	Asia.
	116,64 gr.	
- Monedas numismáticas
 - Anteriores a 1800 Monedas antiguas muy variadas

- Monedas seminumismáticas	
Entre 1800 y 1850	Rey Carlos 20 liras Napoleón 20 francos
- Monedas actuales	
Desde 1850	100 Pesetas oro 10.000 Reis portugueses 100 Soles peruanos Lira de oro 20 liras 100 Pesos chilenos Florín de oro 10 florines Vreneli 20 francos Doble águila 20 dólares Soberano 1 libra Marco de oro 20 marcos
- Monedas bullion	
Desde 1957	100 Coronas austríacas Maple Leaf Canadiense Soberano nuevo Krugerrand Tchervonets 10 rublos 50 pesos mexicanos

-Sudáfrica	490 Tm.
-Estados Unidos	340 Tm.
-Australia	290 Tm.
-Canadá	165 Tm.
-China	160 Tm.
-Rusia	115 Tm.
-Indonesia	95 Tm.
-Brasil	70 Tm.
-Perú	65 Tm.



Producción minera de oro por países (1997)

PRODUCCION

A lo largo de la Historia se han extraído del orden de 100.000 Tm de oro, de las cuales se puede considerar que se han perdido unas 7.000 Tm, el resto permanece en forma de antigüedades, joyas, monedas, lingotes en poder de museos, particulares, empresas o bancos centrales.

Los bancos centrales desde 1978 están autorizados a vender en los mercados libres, de hecho así lo han venido haciendo, complementando la producción hasta alcanzar una demanda creciente. Las cifras de oro en poder de bancos centrales es aún superior a las 30.000 Tm., lo que supone la demanda de 10 años.

El primer productor mundial, desde principio de siglo ha sido Sudáfrica, con una producción máxima de poco más de 1.000 Tm. en 1970 y una producción inferior a las 500 Tm en 1997.

La producción mundial en 1900 fue de menos de 400 Tm., en 1997 ha sido cercana a las 2.500 Tm., según datos que relaciono a continuación, de los primeros productores mundiales:

DEMANDA

La demanda de oro ha sufrido los envites de la Historia, de sus restricciones a la libertad de movimientos del oro, y sus aplicaciones en la industria.

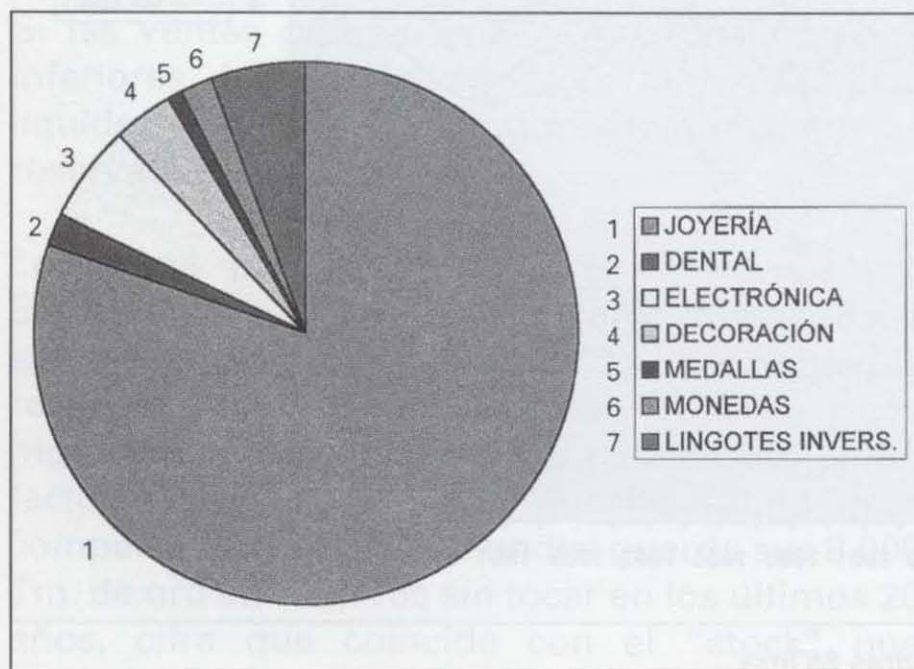
Durante siglos el oro era monopolizado por banqueros, bancos centrales, o grandes fortunas. La socialización del oro ha venido impuesta por los tiempos modernos, el desarrollo económico y las necesidades de la industria.

Denominamos socialización del oro, al cambio producido en la demanda, que ha pasado de las entidades financieras nacionales y supranacionales, a los particulares, en forma de joyería o piezas de oro como inversión. Actualmente la demanda más importante de oro proviene de los fabricantes de joyería, y el déficit entre produc-

ción y demanda, se cubre con los "stocks" de las entidades financieras.

En grandes líneas la demanda actual de oro se distribuye anualmente de la siguiente manera:

JOYERIA	2.800 Tm.
Dental	70 Tm.
Electrónica	200 Tm.
Decoración	125 Tm.
Medallas	35 Tm.
Monedas	70 Tm.
Lingotes invers.	190 Tm.



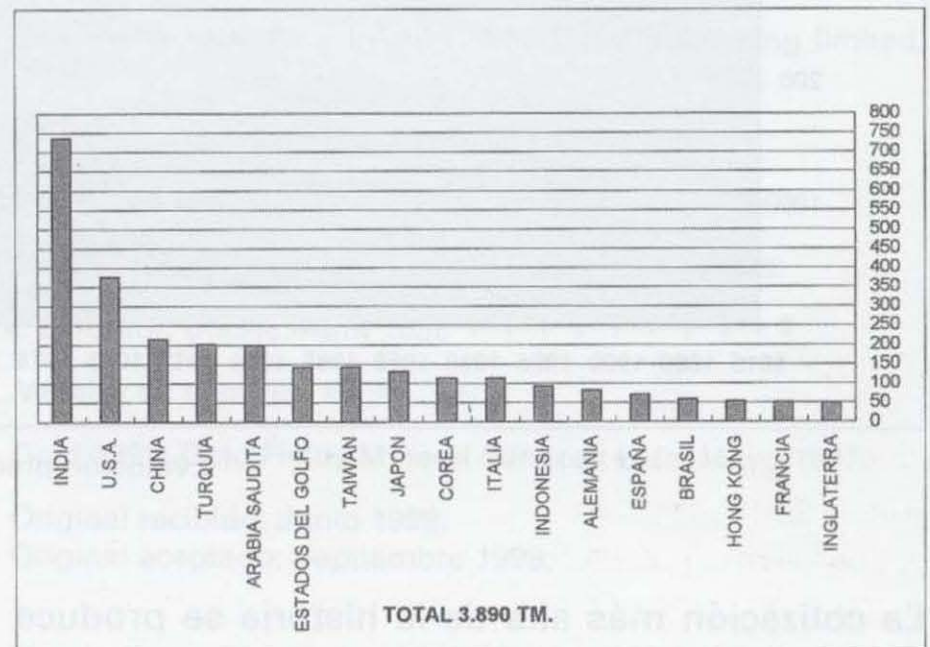
Demanda de oro por aplicaciones (1997)

La demanda de oro creció en 1997 del orden de un 9%, sobre todo el principal demandante, India que aumentó en un 45%. El incremento de demanda total comparando 1987, con 1997, fue de un 50%, desglosado en un 2% en los países desarrollados, y un 96% en los países en vía de desarrollo.

La continuación del desarrollo económico en un mundo más seguro, parece situar un modelo, donde el crecimiento de la demanda de oro parece estar asegurado. Las principales incertidumbres que planean, se centran en el futuro económico de la India tras sus últimas pruebas nucleares, y las medidas internacionales que se tomen.

Los países más importantes en el consumo de oro fueron en 1997:

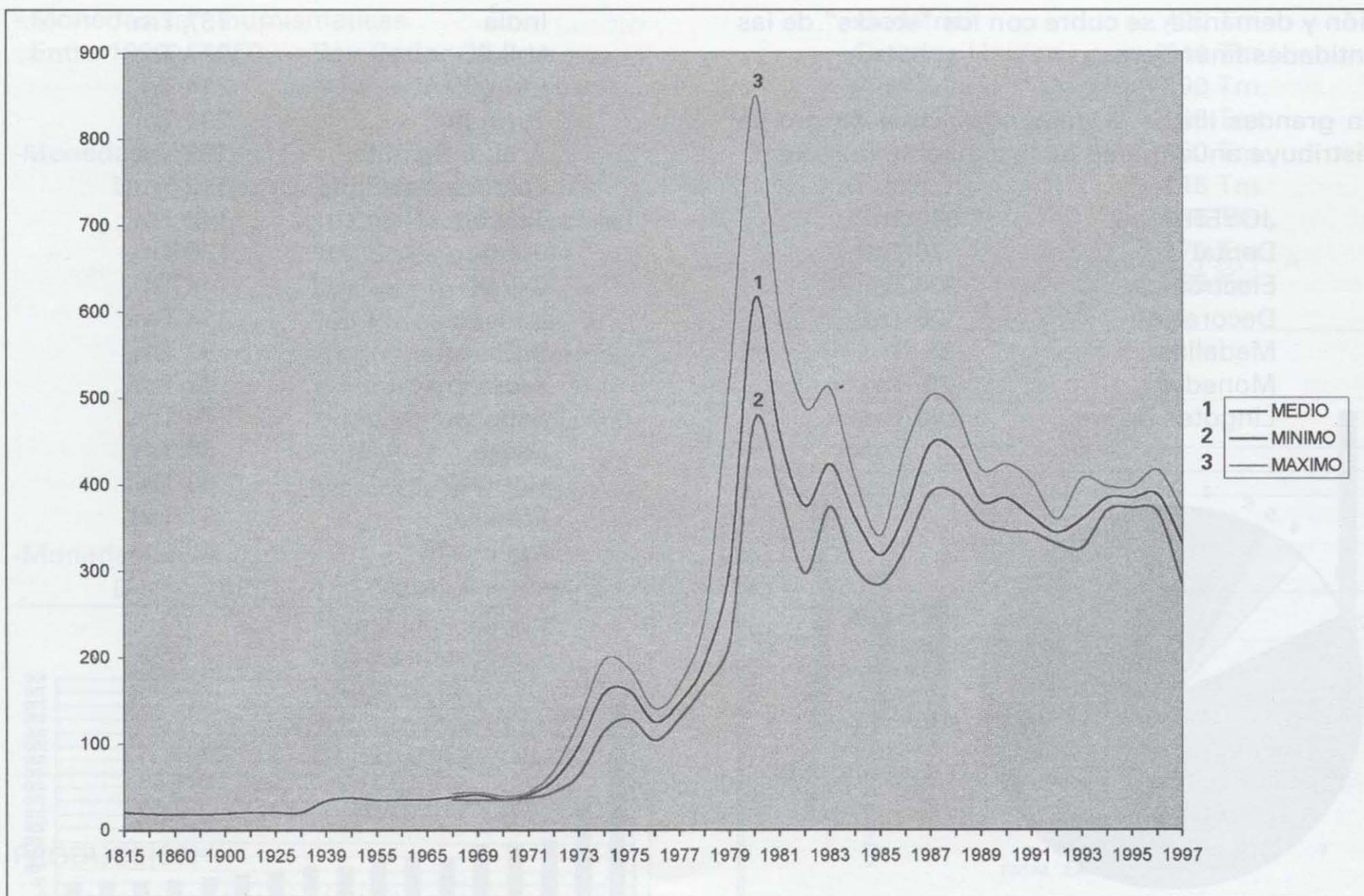
India	737 Tm.
U.S.A.	377 Tm.
China	214 Tm.
Turquía	202 Tm.
Arabia Saudita	199 Tm.
Estados del Golfo	142 Tm.
Taiwan	142 Tm.
Japón	130 Tm.
Corea	114 Tm.
Italia	114 Tm.
Indonesia	93 Tm.
Alemania	82 Tm.
España	70 Tm.
Brasil	58 Tm.
Hong Kong	53 Tm.
Francia	51 Tm.
Inglaterra	50 Tm.



Demanda de oro para fabricación por países (1997)

PRECIO

Al margen de las cotizaciones del oro ligado a las principales monedas, el oro ha mantenido una cotización bastante estable a lo largo del siglo pasado entre los 18,50 y los 20,50 \$/o (dólares la onza). Tras la gran depresión de 1929, el precio sube hasta 35 \$/o, fijándose en esta paridad con la garantía U.S.A., hasta que la divergencia de precio del mercado libre y la desaparición de la convertibilidad en 1971, aceleran un proceso alcista, propiciado por las crisis inflacionistas de los años 70 y 80, muy ligadas a las crisis del petróleo.



Evolución precios Londres \$/Onza.

La cotización más alta de la historia se produce en Enero de 1980 con 850 \$/o, reduciéndose este precio de manera paulatina hasta 1985 con un mínimo de 284,25 \$/o. El ciclo alcista se cierra en 1987, con la última crisis inflacionista con una cotización máxima de 502,75 \$/o, alcanzando el punto más bajo el 12 Enero 1998 con 278,50 \$/o, coincidiendo con la controvertida disposición de los bancos centrales a vender oro de sus reservas, pero con una recuperación apoyada en el incremento de demanda que sitúo un máximo de 314,60 \$/o este 23 Abril, y que en mi opinión, será superado hasta los 340 \$/o antes de fin de año.

El precio del oro, depende fundamentalmente de las siguientes variables:

-Oferta

- Ventas de bancos centrales.
- Ventas de mineros.
- Desinversión.

-Demanda

- Desarrollo económico
- Inversión.
- Inflación.

El precio actual en un mercado líquido, operativo 24 horas al día, con todo tipo de futuros, préstamos, oro, opciones y derivados es el producto de la interpretación de los cambios esperados en el futuro, sobre las variables antes señaladas. Este galimatías es sólo para expresar, que el precio de hoy, es el precio que se espera para el futuro, el precio al que en equilibrio los compradores y vendedores están dispuestos a comprar y vender.

Para analizar y pronosticar un cambio importante en el precio actual, debemos ser capaces de adivinar que va cambiar sobre lo que el mercado conoce.

Para mí, partiendo de la premisa de que el efecto

India va a permanecer neutral porque se acordarán medidas de control, el efecto distorsionante será las ventas de bancos centrales.

Los bancos centrales llevan vendiendo oro desde hace 20 años, sin que el mercado haya reaccionado negativamente, como lo ha hecho en 1997. Es cierto que en 1997 se han vendido 1.050 Tm. provenientes de "stocks", pero lo realmente negativo, han sido las noticias de ventas de los bancos centrales de Holanda, Bélgica, Australia, Suiza, ..., estas noticias, han sido más negativas para el precio que las propias ventas.

Si las ventas descoordinadas provocan precios inferiores, los vendedores sólo consiguen una liquidez, igual a la desvalorización que tienen las reservas restantes.

La última palabra la tiene el Banco Central Europeo, que si desea un "Euro" fuerte, debe establecer unas fuertes reservas. Estas fuertes reservas deben constituirse en dólares, otras monedas fuertes, y según yo pienso, oro como factor estabilizador. U.S.A nuestro futuro gran competidor económico mundial guarda sus 8.000 Tm. de oro en reservas sin tocar en los últimos 20 años, cifra que coincide con el "stock" que

actualmente tienen los países europeos que integran el Euro en su conjunto.

Si es así, la oferta de esta fuente se parará, y el precio aumentará. Si este efecto no se produjera, el desfase físico entre oferta y demanda seguiría siendo cubierto por los bancos centrales mientras fuera posible. En el largo plazo esta fuente se agotaría y el precio aumentará.

REFERENCIAS

Atlas histórico universal. Aguilar 1995

Gold: An Illustrated History by Vicent Buranelli. Red Dembner Enterprises. 1981

Gold: Its history, its charm, its value. Salamandra Consultoria Ltda. 1997

The Living rock. A. J. Wilson. Woodhead publishing limited. 1994.

L'or. Pierre Gascar. Robert Delpire Editeur. 1967.

Invertir en oro. Jeffrey A. Nichols. McGraw Hill. 1993.

Gold Demand Trends. World Gold Council. Feb. 1998.

L'or. Credit Suisse. Août 1983

Metales de Londres. Bache. 1979.

Gold 1997. Gold Fields Mineral Services Ltda. Mayo 1997.

Original recibido: Junio 1998.

Original aceptado: Septiembre 1998.

INFORMACION

ESTADISTICAS DE LA MINERIA DEL ORO

El Instituto Tecnológico Geominero de España considera oportuno añadir al importante conjunto de datos recogidos en esta publicación, las últimas estadísticas que sobre el oro se han publicado en el Panorama Minero de 1996 editado por este Organismo y que transcribimos a continuación:

La producción española en 10³ kg de oro contenido es:

<u>Año</u>	<u>1990</u>	<u>1993</u>	<u>1996</u>
Producción	6,8	6,1	2,8
Valor de la producción 10º PTA.	10,9	11,3	4,5
Valor de la producción 10º US\$	73	75	30

Las reservas y riquezas medias españolas en las actuales condiciones se estiman en:

<u>Zona</u>	<u>Reservas 10º kg</u>	<u>Riqueza mg/kg</u>
Cantábrica	38	39
Faja Pirítica	186	0,8
Cabo de Gata	1	2

La producción de la Unión Europea, en 10³ kg de oro contenido es:

<u>Año</u>	<u>1990</u>	<u>1993</u>	<u>1996</u>
Suecia	6,3	6,5	6,1
Francia	4,2	3,0	4,6
España	6,8	6,1	2,8
Finlandia	1,5	1,3	1,3
Portugal	0,3	-	-
TOTAL UE	19,2	16,9	14,8

La cotización del oro ha resultado ser de:

<u>Año</u>	<u>1990</u>	<u>1993</u>	<u>1996</u>
US\$/onza Troy	383	360	386
PTA/g del año	1 258	1 474	1 573
PTA/g desde 1985	921	920	862

En 1992 se alcanzó un mínimo y en 1994 un máximo de respectivamente 344 y 384 US\$/onza Troy.

INDICE DE MATERIAS
Tomo 109

	<u>Páginas</u>
GEOLOGIA	
H. LLANOS, Y. QUINIF y B. ABALOS: Evolución geodinámica reciente de la Sierra de Cantabria (Alava) en base a la datación U/Th de carbonatos continentales de las cuencas de los ríos Inglares y Ebro	3
M. BURLANDO y E. GALLEGU VALCARCE: Inventario de los puntos de interés geológico en Italia	13
J. ESCUDER VIRUETE: Aportaciones al conocimiento de la evolución geomorfológica del área de Castelseras (Sector meridional de la depresión del Ebro)	107
E. BARRON: Presencia del género <i>Quercus</i> Linne (Magnoliophyta) en el Vallesiense (Neógeno) de la Cerdaña (Lérida, España)	121
R.P. LOZANO y A. RODRIGO: Procesos de mineralización en fósiles del Cretácico Superior de Olazagutia (Navarra)	215
J.M. DIAZ CUIEL, Mª J. MIGUEL, S. DOMINGUEZ y N. CAPARRINI: Correlación automática de sondeos mediante diagráfias en el sur de la cuenca del Duero	227
C. IÑIGO: A new macrodont anchithere (Equidae) from the late Aragonian (Miocene) of Madrid (Spain)	243
A. ARIBAS: Yacimientos de oro asociados con las monteras limoníticas Faja Pirítica Ibérica	429
A. ARIBAS: El yacimiento epitermal de oro de Rodalquilar	435
A. DEMOUSTIER, R. CASTROVIEJO y J.M. CHARLET: Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería	449
R. URBANO: Yacimientos de oro intragraníticos en el NO del Macizo Ibérico	469
A. MARTIN-IZARD, M.A. CEPEDAL, M. FUERTES-FUENTE, R. REGUILON, L. RODRIGUEZ-PEVIDA, E. SPIERING, S. GONZALEZ, A. VARELA, C. MALDONADO y LL. BOIXET: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
R. CASTROVIEJO: Nuevas aportaciones a la tipología de metales preciosos para exploración en España	497

	Páginas
MINERIA	
J.A. ESPI: Análisis de las innovaciones en la tecnología de la recuperación del oro	535
MINERIA HISTORICA	
A. PEREA: Metalurgia del oro. Ambitos tecnológicos en prehistoria	565
F.J. SANCHEZ-PALENCIA, Mª D. FERNANDEZ-POSSE, J. FERNANDEZ MANZANO, A. OREJAS y L.C. PEREZ GARCIA: Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero	577
A. VILLA VALDES: Estudio arqueológico del complejo minero romano de Boinás, Belmonte de Miranda (Asturias)	589
E. ORCHE: Minería americana del oro en las épocas precolombina y del imperio	599
O. PUCHE RIART y E. ORCHE GARCIA: Los museos del oro en Europa	617
L.F. MAZADIEGO MARTINEZ y O. PUCHE RIART: Mitología del oro: El oro y el sol	629
J. SARDA DE LAS HERAS: La comercialización del oro	641
METALURGIA	
T. GARCIA: El afino y las aplicaciones del oro	553
AGUAS SUBTERRANEAS	
A. MAZOUZI, S. DAHBI, J. TRILLA y J. ESTALRICH: Gestión de las aguas superficiales del sistema del Alto Sebu (Marruecos)	151
HIDROLOGIA SUBTERRANEA	
E. CUSTODIO GIMENA: Recarga a los acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre	329
F.J. SAMPER CALVETE: Evaluación de la recarga por la lluvia mediante balances de agua: Utilización, calibración e incertidumbres	347
L.J. LAMBAN: Recopilación y síntesis de la información hidrogeológica disponible en las zonas de mayor importancia minera situadas al sur de la provincia de Río Negro (Argentina)	371
M. FILI, E.F. DA ROSA FILHO, M. AUGÉ, J. MONTAÑO XAVIER y O. TUJCHNEIDER: El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)	389

	Páginas
M.E. HERNANDEZ GARCIA, M.R. LLAMAS MADURGA y J. CRUCES DE ABIA: El impacto de los pozos abandonados sobre el acuífero detrítico del terciario de Madrid	395
G.H.P. OUDE ESSINK y R.H. BOEKELMAN: Problemas con el modelado a gran escala de la intrusión de agua salada en 3D	403
GEOESTADISTICA	
C. PAREDES y F.J. ELORZA: Análisis y simulación fractal de medios fracturados	21
GEOFISICA	
F.M. RUBIO y J.L. PLATA: Proceso de datos gravimétricos en el proyecto integrado de estudio geológico y metalogenético de la Faja Pirítica	251
J.L. CUEVAS OJEDA: Estudios sobre la isostasia en Cuba: Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas	265
GEOQUIMICA	
M. VILADEVALL SOLE: La geoquímica del oro como herramienta de prospección de menas auríferas	521
INGENIERIA GEOAMBIENTAL	
A. CALLABA DE ROA: Determinación de niveles seguros de contaminantes en suelos a partir de consideraciones de riesgo	35
A. CALLABA DE ROA: El <i>Hazard Ranking System</i> . Un sistema para la jerarquización de actuaciones en terrenos contaminados	43
L. ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, T. OLMOS PALOMERO y MARTIN FERRERO: Evaluación de la capacidad de uso agrícola y forestal del suelo mediante un sistema de información geográfica en el sector Torrelaguna-La Cabrera (Madrid)	161
A. NAVARRO FLORES, D. COLLADO FERNANDEZ y J.A. SANCHEZ GARRIDO: Caracterización de la contaminación producida por actividades mineras en los suelos de la cuenca baja del río Almanzora	173
L.J. FERNANDEZ GUTIERREZ DEL ALAMO y J.I. DIAZ DE VILLAFRANCA GARCIA: Evaluación informática cuantitativa de la alteración en el color de un paisaje. Aplicación al caso de una labor minera de superficie	279

	Páginas
ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES	
P. GUMIEL y J.M. BALTUILLE: Análisis geométrico de sistemas de fracturación en canteras de rocas ornamentales. Aplicación de análisis fractal en la cantera de "El Venero" (Cadalso de los Vidrios, Madrid)	289
R. CASTELLO MONTORI: Composición de los morteros empleados en la construcción de la Catedral de Jaca	299
ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS	
B. ABALOS, J.I. GIL IBARGUCHI y J. AZCARRAGA: Análisis petroestructural de las peridotitas asociadas a la zona de movimiento tectónico de carreiro (complejo de cabo ortegal, NO de España)	53
INFORMACION	
F.J. AYALA CARCEDO: Notas sobre la evolución histórica del conocimiento, las estrategias y técnicas de mitigación de las inundaciones y movimientos de ladera en España	69
O. PUCHE RIART y L.F. MAZADIEGO MARTINEZ: La conservación del patrimonio minero metalúrgico europeo: Inventario, actuaciones de conservación, archivos y museos	77
L.A. DIAZ RODRIGUEZ: Raíces históricas del uso del alabastro por la humanidad	91
L.F. MAZADIEGO y O. PUCHE RIART: Apuntes sobre la mitología minera en la América andina	193
L.F. MAZADIEGO MARTINEZ, O. PUCHE RIART, J.F. LLAMAS BORRAJO y A. SANZ GONZALEZ: Los productos petrolíferos en Hispanoamérica: Noticias anteriores al siglo XIX.	199
A. DAZA SANCHEZ: Síntesis minera y calzadas romanas de Belmez-Villaviciosa	307
ITGE: Estadísticas de la Minería del Oro.	653

INDICE DE AUTORES

Tomo 109

	Páginas
ABALOS, B.; LLANOS, H y QUINIF, Y.: Evolución geodinámica reciente de la Sierra de Cantabria (Alava) en base a la datación U/Th de carbonatos continentales de las cuencas de los ríos Inglares y Ebro	3
ABALOS, B.; GIL IBARGUCHI, J.I. y AZCARRAGA, J.: Análisis petroestructural de las peridotitas asociadas a la zona de movimiento tectónico de carreiro (complejo de cabo ortegal, NO de España)	53
ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, L.; OLMOS PALOMERO, T. y MARTIN FERRERO: Evaluación de la capacidad de uso agrícola y forestal del suelo mediante un sistema de información geográfica en el sector Torrelaguna-La Cabrera (Madrid)	161
ARRIBAS, A.: Yacimientos de oro asociados con las monteras limoníticas Faja Pirítica Ibérica	429
ARRIBAS, A.: El yacimiento epitermal de oro de Rodalquilar	431
AUGE, M.; FILI, M.; ROSA FILHO, E.F. DA; MONTAÑO XAVIER, J. y TUJCHNEIDER, O.: El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)	389
AYALA CARCEDO, F.J.: Notas sobre la evolución histórica del conocimiento, las estrategias y técnicas de mitigación de las inundaciones y movimientos de ladera en España	69
AZCARRAGA, J.; ABALOS, B. y GIL IBARGUCHI, J.I.: Análisis petroestructural de las peridotitas asociadas a la zona de movimiento tectónico de carreiro (complejo de cabo ortegal, NO de España)	53
BALTUILLE, J.M. y GUMIEL, P.: Análisis geométrico de sistemas de fracturación en canteras de rocas ornamentales. Aplicación de análisis fractal en la cantera de "El Venero" (Cadalso de los Vidrios, Madrid)	289
BARRON, E.: Presencia del género <i>Quercus</i> Linne (Magnoliophyta) en el Vallesiense (Neógeno) de la Cerdaña (Lérida, España)	121
BOEKELMAN, R.H. y OUDE ESSINK, G.H.P.: Problemas con el modelado a gran escala de la intrusión de agua salada en 3D	403
BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; CEPEDAL, M.A.; FUERTES-FUENTE, M.; REGUILON, R.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E.; GONZALEZ, S.; VARELA, A. y MALDONADO, C.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
BURLANDO, M. y GALLEGO VALCARCE, E.: Inventario de los puntos de interés geológico en Italia	13

	Páginas
CALLABA DE ROA, A.: Determinación de niveles seguros de contaminantes en suelos a partir de consideraciones de riesgo	35
CALLABA DE ROA, A.: El <i>Hazard Ranking System</i> . Un sistema para la jerarquización de actuaciones en terrenos contaminados	43
CAPARRINI, N.; DIAZ CUIEL, J.M.; MIGUEL, Mª J. y DOMINGUEZ, S.: Correlación automática de sondeos mediante diagráfias en el sur de la cuenca del Duero	227
CASTELLO MONTORI, R.: Composición de los morteros empleados en la construcción de la Catedral de Jaca	299
CASTROVIEJO, R.: Nuevas aportaciones a la tipología de metales preciosos para exploración en España	497
CASTROVIEJO, R.; DEMOUSTIER, A. y CHARLET, J.M.: Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería	449
CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; FUERTES-FUENTE, M.; REGUILON, R.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E.; GONZALEZ, S.; VARELA, A. y MALDONADO, C.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
COLLADO FERNANDEZ, D.; NAVARRO FLORES, A. y SANCHEZ GARRIDO, J.A.: Caracterización de la contaminación producida por actividades mineras en los suelos de la cuenca baja del río Almanzora	173
CRUCES DE ABIA, J.; HERNANDEZ GARCIA, M.E. y LLAMAS MADURGA, M.R.: El impacto de los pozos abandonados sobre el acuífero detrítico del terciario de Madrid	395
CUEVAS OJEDA, J.L.: Estudios sobre la isostasia en Cuba: Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas	265
CUSTODIO GIMENA, E.: Recarga a los acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre	329
CHARLET, J.M.; CASTROVIEJO, R. y DEMOUSTIER, A.: Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería	449
DAHBI, S.; MAZOUZI, A.; TRILLA, J. y ESTALRICH, J.: Gestión de las aguas superficiales del sistema del Alto Sebu (Marruecos)	151
DAZA SANCHEZ, A.: Síntesis minera y calzadas romanas de Belmez-Villaviciosa	307
DEMOUSTIER, A.; CASTROVIEJO, R. y CHARLET, J.M.: Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería	449
DIAZ CUIEL, J.M.; CAPARRINI, N.; MIGUEL, Mª J. y DOMINGUEZ, S.: Correlación automática de sondeos mediante diagráfias en el sur de la cuenca del Duero	227

	Páginas
DIAZ DE VILLAFRANCA GARCIA, J.I. y FERNANDEZ GUTIERREZ DEL ALAMO, L.J.: Evaluación informática cuantitativa de la alteración en el color de un paisaje. Aplicación al caso de una labor minera de superficie	279
DIAZ RODRIGUEZ, L.A.: Raíces históricas del uso del alabastro por la humanidad	91
DOMINGUEZ, S.; DIAZ CUIEL, J.M.; CAPARRINI, N. y MIGUEL, Mª J.: Correlación automática de sondeos mediante diagráfias en el sur de la cuenca del Duero	227
ELORZA, F.J. y PAREDES, C.: Análisis y simulación fractal de medios fracturados	21
ESCUDER VIRUETE, J.: Aportaciones al conocimiento de la evolución geomorfológica del área de Castelseras (Sector meridional de la depresión del Ebro)	107
ESPI, J.A.: Análisis de las innovaciones en la tecnología de la recuperación del oro	535
ESTALRICH, J.; DAHBI, S.; MAZOUZI, A. y TRILLA, J.: Gestión de las aguas superficiales del sistema del Alto Sebu (Marruecos)	151
FERNANDEZ GUTIERREZ DEL ALAMO, L.J. y DIAZ DE VILLAFRANCA GARCIA, J.I.: Evaluación informática cuantitativa de la alteración en el color de un paisaje. Aplicación al caso de una labor minera de superficie	279
FERNANDEZ MANZANO, J.; FERNANDEZ-POSSE, Mª D.; SANCHEZ-PALENCIA, F.J.; OREJAS, A. y PEREZ GARCIA, L.C.: Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero	577
FERNANDEZ-POSSE, Mª D.; FERNANDEZ MANZANO, J.; SANCHEZ-PALENCIA, F.J.; OREJAS, A. y PEREZ GARCIA, L.C.: Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero	577
FILI, M.; AUGÉ, M.; ROSA FILHO, E.F. DA; MONTAÑO XAVIER, J. y TUJCHNEIDER, O.: El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)	389
FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; REGUILON, R.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E.; GONZALEZ, S.; VARELA, A. y MALDONADO, C.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
GALLEGO VALCARCE, E. y BURLANDO, M.: Inventario de los puntos de interés geológico en Italia	13
GARCIA, T.: El afino y las aplicaciones del oro	553
GIL IBARGUCHI, J.I.; ABALOS, B. y AZCARRAGA, J.: Análisis petroestructural de las peridotitas asociadas a la zona de movimiento tectónico de carreiro (complejo de cabo orte-gal, NO de España)	53

	<u>Páginas</u>
GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; REGUILON, R.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E.; VARELA, A. y MALDONADO, C.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
GUMIEL, P. y BALTUILLE, J.M.: Análisis geométrico de sistemas de fracturación en canteras de rocas ornamentales. Aplicación de análisis fractal en la cantera de "El Venero" (Cadalso de los Vidrios, Madrid)	289
HERNANDEZ GARCIA, M.E.; CRUCES DE ABIA, J. y LLAMAS MADURGA, M.R.: El impacto de los pozos abandonados sobre el acuífero detrítico del terciario de Madrid	395
IÑIGO, C.: A new macrodont anchithere (Equidae) from the late Aragonian (Miocene) of Madrid (Spain)	243
LAMBAN, L.J.: Recopilación y síntesis de la información hidrogeológica disponible en las zonas de mayor importancia minera situadas al sur de la provincia de Río Negro (Argentina)	371
LLAMAS BORRAJO, J.F.; MAZADIEGO MARTINEZ, L.F.; PUCHE RIART, O. y SANZ GONZALEZ, A.: Los productos petrolíferos en Hispanoamérica: Noticias anteriores al siglo XIX	199
LLAMAS MADURGA, M.R.; HERNANDEZ GARCIA, M.E. y CRUCES DE ABIA, J.: El impacto de los pozos abandonados sobre el acuífero detrítico del terciario de Madrid	395
LLANOS, H.; ABALOS, B. y QUINIF, Y.: Evolución geodinámica reciente de la Sierra de Cantabria (Alava) en base a la datación U/Th de carbonatos continentales de las cuencas de los ríos Inglares y Ebro	3
LOZANO, R.P. y RODRIGO, A.: Procesos de mineralización en fósiles del Cretácico Superior de Olazagutia (Navarra)	215
MALDONADO, C.; GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; M.A.; REGUILON, R.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E. y VARELA, A.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
MARTIN FERRERO; ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, L. y OLMOS PALOMERO, T.: Evaluación de la capacidad de uso agrícola y forestal del suelo mediante un sistema de información geográfica en el sector Torrelaguna-La Cabrera (Madrid)	161
MARTIN-IZARD, A.; GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; REGUILON, R.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E.; VARELA, A. y MALDONADO, C.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
MAZADIEGO, L.F. y PUCHE RIART, O.: Apuntes sobre la mitología minera en la América andina	193
MAZADIEGO MARTINEZ, L.F. y PUCHE RIART, O.: Mitología del oro: El oro y el sol	629

	<u>Páginas</u>
MAZADIEGO MARTINEZ, L.F. y PUCHE RIART, O.: La conservación del patrimonio minero metalúrgico europeo: Inventario, actuaciones de conservación, archivos y museos ...	77
MAZADIEGO MARTINEZ, L.F.; LLAMAS BORRAJO, J.F.; PUCHE RIART, O. y SANZ GONZALEZ, A.: Los productos petrolíferos en Hispanoamérica: Noticias anteriores al siglo XIX ...	199
MAZOUZI, A.; ESTALRICH, J.; DAHBI, S. y TRILLA, J.: Gestión de las aguas superficiales del sistema del Alto Sebu (Marruecos)	151
MIGUEL, Mª J.; DOMINGUEZ, S.; DIAZ CURIEL, J.M. y CAPARRINI, N.: Correlación automática de sondeos mediante diagráfias en el sur de la cuenca del Duero	227
MONTAÑO XAVIER, J.; FILI, M.; AUGE, M.; ROSA FILHO, E.F. DA y TUJCHNEIDER, O.: El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)	389
NAVARRO FLORES, A.; COLLADO FERNANDEZ, D. y SANCHEZ GARRIDO, J.A.: Caracterización de la contaminación producida por actividades mineras en los suelos de la cuenca baja del río Almazora	173
OLMOS PALOMERO, T.; MARTIN FERRERO y ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, L.: Evaluación de la capacidad de uso agrícola y forestal del suelo mediante un sistema de información geográfica en el sector Torrelaguna-La Cabrera (Madrid)	161
ORCHE, E.: Minería americana del oro en las épocas precolombina y del imperio	599
ORCHE GARCIA, E. y PUCHE RIART, O.: Los museos del oro en Europa	617
OREJAS, A; FERNANDEZ-POSSE, Mª D.; FERNANDEZ MANZANO, J.; SANCHEZ-PALENCIA, F.J. y PEREZ GARCIA, L.C.: Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero	577
OUDE ESSINK, G.H.P. y BOEKELMAN, R.H.: Problemas con el modelado a gran escala de la intrusión de agua salada en 3D	403
PAREDES, C. y ELORZA, F.J.: Análisis y simulación fractal de medios fracturados	21
PEREA, A.: Metalurgia del oro. Ambitos tecnológicos en prehistoria	565
PEREZ GARCIA, L.C.; OREJAS, A; FERNANDEZ-POSSE, Mª D.; FERNANDEZ MANZANO, J. y SANCHEZ-PALENCIA, F.J.: Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero	577
PLATA, J.L. y RUBIO, F.M.: Proceso de datos gravimétricos en el proyecto integrado de estudio geológico y metalogenético de la Faja Pirítica	251
PUCHE RIART, O. y MAZADIEGO, L.F.: Apuntes sobre la mitología minera en la América andina	193

	<u>Páginas</u>
PUCHE RIART, O. y MAZADIEGO MARTINEZ, L.F.: Mitología del oro: El oro y el sol	629
PUCHE RIART, O. y MAZADIEGO MARTINEZ, L.F.: La conservación del patrimonio minero metalúrgico europeo: Inventario, actuaciones de conservación, archivos y museos ...	77
PUCHE RIART, O. y ORCHE GARCIA, E.: Los museos del oro en Europa	617
PUCHE RIART, O.; MAZADIEGO MARTINEZ, L.F.; LLAMAS BORRAJO, J.F. y SANZ GONZALEZ, A.: Los productos petrolíferos en Hispanoamérica: Noticias anteriores al siglo XIX ...	199
QUINIF, Y.; LLANOS, H. y ABALOS, B.: Evolución geodinámica reciente de la Sierra de Cantabria (Alava) en base a la datación U/Th de carbonatos continentales de las cuencas de los ríos Inglares y Ebro	3
REGUILON, R.; MALDONADO, C.; GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; M.A.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; SPIERING, E. y VARELA, A.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
RODRIGO, A. y LOZANO, R.P.: Procesos de mineralización en fósiles del Cretácico Superior de Olazagutia (Navarra)	215
RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; REGUILON, R.; MALDONADO, C.; GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; M.A.; SPIERING, E. y VARELA, A.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
ROSA FILHO, E.F. DA; MONTAÑO XAVIER, J.; FILI, M.; AUGÉ, M. y TUJCHNEIDER, O.: El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)	389
RUBIO, F.M. y PLATA, J.L.: Proceso de datos gravimétricos en el proyecto integrado de estudio geológico y metalogenético de la Faja Pirítica	251
SAMPER CALVETE, F.J.: Evaluación de la recarga por la lluvia mediante balances de agua: Utilización, calibración e incertidumbres	347
SANCHEZ GARRIDO, J.A.; NAVARRO FLORES, A. y COLLADO FERNANDEZ, D.: Caracterización de la contaminación producida por actividades mineras en los suelos de la cuenca baja del río Almanzora	173
SANCHEZ-PALENCIA, F.J.; PEREZ GARCIA, L.C.; OREJAS, A; FERNANDEZ-POSSE, M ^a D. y FERNANDEZ MANZANO, J.: Las Médulas (León), la formación de un paisaje cultural minero	577
SANZ GONZALEZ, A.; PUCHE RIART, O.; MAZADIEGO MARTINEZ, L.F. y LLAMAS BORRAJO, J.F.: Los productos petrolíferos en Hispanoamérica: Noticias anteriores al siglo XIX ...	199
SARDA DE LAS HERAS, J.: La comercialización del oro	641

	<u>Páginas</u>
SPIERING, E.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; REGUILON, R.; MALDONADO, C.; GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL.; MARTIN-IZARD, A.; M.A. y VARELA, A.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
TRILLA, J.; MAZOUZI, A.; ESTALRICH, J. y DAHBI, S.: Gestión de las aguas superficiales del sistema del Alto Sebu (Marruecos)	151
TUJCHNEIDER, O.; ROSA FILHO, E.F. DA; MONTAÑO XAVIER, J.; FILI, M. y AUGÉ, M.: El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)	389
URBANO, R.: Yacimientos de oro intragraníticos en el NO del Macizo Ibérico	469
VARELA, A.; SPIERING, E.; RODRIGUEZ-PEVIDA, L.; REGUILON, R.; MALDONADO, C.; GONZALEZ, S.; FUERTES-FUENTE, M.; CEPEDAL, M.A.; BOIXET, LL. y MARTIN-IZARD, A.: Los yacimientos de oro-cobre del cinturón del río Narcea, Asturias, España	479
VILADEVALL SOLE, M.: La geoquímica del oro como herramienta de prospección de menas auríferas	521
VILLA VALDES, A.: Estudio arqueológico del complejo minero romano de Boinás, Belmonte de Miranda (Asturias)	589

NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

Texto.

El texto, que será completo (tablas, figuras, fotografías, etc), con pruebas en papel, irá acompañado de la correspondiente grabación en disquete, señalando en el mismo el programa y versión utilizados. Este texto se considerará definitivo. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España.

Referencias.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

Parte gráfica.

La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras, tablas y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo o transparencia).

Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

Tiradas aparte.

Se asignan 30 tiradas aparte con caracter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones
deberá dirigirse a:
Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara
Jefe del Servicio de Publicaciones
Instituto Tecnológico Geominero de España
Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Finalidad:

*Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería
Aguas subterráneas, y Disciplinas conexas*



GEOLOGIA

MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA
GEOLOGIA MARINA



RECURSOS MINERALES

EXPLORACION MINERA E INVESTIGACION DE YACIMIENTOS
METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS
PROCESOS, TECNOLOGIA Y ECONOMIA MINERAS
NORMATIVA Y SEGURIDAD MINERA



AGUAS SUBTERRANEAS

CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS
RECURSOS GEOTERMICOS



INGENIERIA GEOAMBIENTAL

RIESGOS GEOLOGICOS
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA
ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES



LABORATORIOS Y ENSAYOS

ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA
GEOFISICA Y TELEDETECCION APLICADA
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS
CARACTERIZACION DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES
SONDEOS MECANICOS Y ENSAYOS DE BOMBEO



INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS

FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS
LITOTECA
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES



SERVICIO DE PUBLICACIONES

CARTOGRAFIA TEMATICA A DIVERSAS ESCALAS
PUBLICACIONES SOBRE GEOLOGIA, MINERIA Y CIENCIAS CONEXAS
«BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO»
«REVISTA ESPAÑOLA DE MICROPALAEONTOLOGIA»



MUSEO GEOMINERO

PALEONTOLOGIA Y MINERALOGIA
CATALOGACION Y GESTION DE COLECCIONES GEOLOGICAS
EXPOSICIONES: TEMPORALES Y PERMANENTES
DIVULGACION CIENTIFICA

Sede Central:

C/Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID

Tel.: 91/349 57 00. Fax: 91/349 57 62

Centro de Laboratorios:

C/La Calera, 1 - 28760 TRES CANTOS (MADRID)

Tel.: 803 22 00